Nicht f. d. Austausch

Aus dem Werner Siemens-Institut für Röntgenforschung im Städtischen
Robert Koch-Krankenhaus (Direktor: Prof. Karl Frik)

Zur Röntgenstrahlenbehandlung oberflächlich gelagerter Tumoren

Eingereicht

zur Erlangung der Würde eines Dr. med. habil.

in der

Medizinischen Fakultät

der

Friedrich Wilhelms-Universität
zu Berlin

Von

Dr. phil. Dr. med. Paul Ott
aus Würzburg

Berlin 1937
Druck von L. Schumacher, Berlin N 4

M 303

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Herr Prof. R. Siebeck
Referent: Herr Prof. K. Frik
Korreferent: Herr Prof. W. Friedrich

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck
aus „Strahlentherapie", Band 59, Heft 2
(Verlag von Urban & Schwarzenberg, Berlin)

Inhaltsangabe.

I. Geschichtlicher Überblick.
II. Fragestellungen.
III. Die verwendeten Bestrahlungsanlagen:
  a) Strahlenquellen;
  b) Hochspannungsquellen;
  c) Tubusse.
IV. Bestimmungen der Einfalldosisleistungen (r/sec-Werte) für die angewendeten Bestrahlungsbedingungen.
V. Bestimmung des Abfalls der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe an einem wassergleichen Phantom für die angewendeten Strahlengemische:
  a) Meßanordnung;
  b) Meßergebnisse.
VI. Bestimmung des Abfalls der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe bei Radiumpräparaten.
VII. Streuzusatzbetrachtungen für diese Röntgenstrahlenbereiche.
VIII. Schlußfolgerung aus diesen vergleichenden Ergebnissen der physikalischen Bestrahlungsbedingungen.
IX. Behandlungsbeispiele.
X. Zusammenfassung.

I. Geschichtlicher Überblick.

Aus den Veröffentlichungen zur Fragestellung der Röntgenstrahlenbehandlung oberflächlich gelegener Tumoren lassen sich klar 3 Behandlungsmethoden unterscheiden. Diese sind:

1. die möglichst nur einmalige Bestrahlung mit einer „Massivdosis“;

2. die sog. „kombinierte Behandlungsweise“, welche zuerst durch einen chirurgischen Eingriff den Krankheitsherd weitgehend entfernt und unmittelbar anschließend eine Röntgenstrahlenbehandlung in der Gabe einer massiven Dosis folgen läßt;

3. die fraktionierte bzw. fraktioniert-protrahierte Behandlungsweise in all ihren mehr oder minder großen Variationen.

Nach der alten Lehre von Béclère sind oberflächliche Haut- und Schleimhautkrebse mit mittelharter Strahlung in einer einzigen Sitzung zu behandeln. Dieses Prinzip ist von einer großen Anzahl von Strahlentherapeuten in den verschiedensten Ländern angewendet worden. In den letzten 10 Jahren erschienen mehrere Veröffentlichungen über die so erzielten Erfolge. Darunter sind Berichte von einigen Behandlungsstellen über Erfahrungen an mehreren hundert Fällen (Coste, Girel, Miescher, Fiorini u. a.). Die 3—5-Jahresheilungen werden dort zwischen 90 und 97% angegeben. Die Ansichten über die verschiedene Beeinflußbarkeit der Basalzellenkarzinome und der Spinalzellenepitheliome gehen in den verschiedenen Arbeiten auseinander. Die für eine einwandfreie, vergleichende Beurteilung notwendigen physikalischen Bestrahlungsbedingungen sind in einer großen Anzahl der früheren Veröffentlichungen unvollständig angegeben. An Stelle einer Sicherheit kann daher oft nur eine mehr oder minder begründete Vermutung über die tatsächlich angewendeten physikalischen Bedingungen beim Vergleich weiter zurückliegender Arbeiten erlangt werden.

Coste und Girel haben bei 85 kV ohne Filter gearbeitet und 1500 r[1]) bei Basalzellenkrebsen und 3000 r bei Spinalzellenepitheliomen in einer Sitzung auf kleine Felder gegeben. Sie haben bei diesem Verfahren keine stärkeren Spätschädigungen gesehen. Über die Art der Tiefenwirkung bleiben jedoch die Vorstellungen unklar, da die durch die Röhren bedingte Vorfilterung und die Spannungsformen der verwendeten Hochspannungsanlagen nicht ausreichend mitgeteilt sind. Auf Grund ihrer Ergebnisse kommen die Autoren zu dem Schluß, daß die Radiumbehandlung therapeutisch auch nicht mehr für solche Fälle leistet als ihre angegebene Methode (Coste 1926). Evans und Leucutia (1928) und Howes (1934) haben bei oberflächlichen Krebsherden bis 5 cm Durchmesser die „Massivdosen“ zu sog. „Übermassivdosen“ gesteigert. Sie wagten auf so kleine Bestrahlungsfelder die Gabe bis zu 4500 r ungefilterter Strahlung von 60—100 kV Spannung in einer Sitzung. Bei noch ausgedehnteren Erkrankungsherden (5—10 cm im Durchmesser) gingen letztgenannte Autoren zu durchdringenderer Strahlung (200 kV, 1 mm Cu-Filterung) über und verabreichten 900—1200 r, frei Luft gemessen, in einer Sitzung. Eine Wiederholung einer solchen

[1]) Die Dosisangaben werden in dieser Arbeit an allen Stellen in internationalen r-Einheiten gemacht. Da in früheren Arbeiten oft andere Einheiten zur Dosisangabe Verwendung fanden, sind die entsprechenden r-Angaben mit den bekannten Umrechnungsschwankungsbreiten behaftet.

Bestrahlung wurde nötigenfalls nach 6—8 Wochen vorgenommen. Auch Miescher wendete bei Feldgrößen bis 5 cm Durchmesser ungefähr die Bestrahlungstechnik wie Coste an. Meist benutzte er nur noch eine geringe, $^1/_2$—4 mm starke Aluminiumfilterung. Er begnügte sich im allgemeinen mit einer Großdosis von 1200—1600 r. Bei ausgedehnten Fällen und Rezidiven bestrahlte er im Sinne Coutards bis zu einer Gesamtherddosis von 3000—4000 r, täglich etwa 200 r, ungefähr 2—4 Wochen lang. Filterlos, wie Coste, bestrahlten auch Laborderie, Fiorini, Turano, Erikson-Seitz und Stenstrom und teilweise auch Hintze.

Diese unter 1. zusammengefaßten Bestrahlungen mit einer „Massivdosis" werden aber im großen und ganzen auch bei der unter 2. genannten „kombinierten Behandlungsweise" angewendet. Belot (1905) und Bordier (1906) haben schon sehr früh diese Methode ausgeführt. In einer Sitzung entfernt Belot zuerst durch Ätzung und Auskratzung bzw. nur durch Auskratzung das krankhafte Gewebe und bestrahlt unmittelbar anschließend, etwa $^3/_4$ cm im Gesunden abgedeckt, das entstandene Wundbett. Der Auskratzung gibt der Autor vor der Koagulation und Elektrolyse den Vorzug, da die Hand bei der Auskratzung besser das Aufhören des krebsigen Gewebes fühlt. Mitunter ist die Elektrokoagulation mit Auskratzung zweckmäßig. Die meisten Bestrahlungen werden auch filterlos ausgeführt. Nur bei sehr tiefreichenden Erkrankungsherden, was während der Auskratzung gut festzustellen ist, wird mit 10 mm Al bzw. 0,5—1 mm Cu gefiltert. Die Spannung betrug nach Messungen mit einer Funkenstrecke 120—150 kV. Die verabfolgten Dosen schwanken zwischen 800 und 2000 r. Nach 3—4 Wochen heilt das Wundbett aus. Zu diesem Zeitpunkt wird eine Nachbestrahlung mit 5—10 mm Al-Filterung vorgenommen, wobei nur etwa die Hälfte der ersten Dosis (also 400—1000 r) gegeben wird. Bei sehr ausgedehnten Erkrankungen verfährt Belot anders. Er bestrahlt zuerst den erkrankten Bereich mit einer durchdringenden Strahlung (200 kV und 1 mm Cu) und einer höheren Dosis (2000—3000 r). Etwa 8 Tage darauf findet die Auskratzung statt, welche so weit durchgeführt wird, bis am Gewebsgrund eine widerstandsfähige Gewebsplatte festgestellt wird. Diese, welche die Grenze zwischen krebsigem und normalem Gewebe darstellt, wird unbedingt geschont. Erst jetzt wird ungefiltert oder mit schwacher Filterung die zuvor beschriebene Bestrahlung des Wundbettes vollzogen („Methode mixte" Belot-Brocq). In einer Mitteilung aus dem Jahre 1931 berichtet Belot über die Ergebnisse seiner Behandlungsweise, welche er seit 30 Jahren ausübte. Bei insgesamt 12000 Hautkrebsfällen konnte er in 85% Heilung erzielen. In ähnlicher

Weise behandelten auch Davies (1927) und Abgarov (1931) Hautkrebse. Seit wenigen Jahren führt Belot und Lepennetier bei tiefgreifenden oder ausgedehnten Formen von Hautepitheliomen auch fraktionierte Behandlung durch. Bei 200 kV und 1 mm Cu-Filterung werden insgesamt 8—10 Bestrahlungen des Krankheitsherdes ausgeführt. Täglich wird eine Bestrahlung mit 500—1000 r gegeben. Nach etwa 8 Tagen erfolgt eine starke Radioepidermitis von ungefähr 3 Wochen Dauer. Die Erfolge dieser Therapie sind auch kosmetisch gut, während die Auskratzungen oft zu größeren und tieferen Narben führen.

Damit sind wir zur dritten strahlentherapeutischen Behandlungsweise oberflächlich gelagerter Tumoren, der fraktionierten bzw. fraktioniert-protrahierten Bestrahlung, gekommen. Diese Behandlungsweise (Coutard und seine Schule), welche in den Heilerfolgen auf dem Gebiete der Tiefentherapie ihre augenfälligsten Vorteile gegenüber den einmaligen Massivdosen zeigt, wurde auch bei ausgedehnten und weniger strahlenempfindlichen, oberflächlich gelagerten Tumoren in den letzten Jahren angewendet. Daß Belot für solche Fälle zu dieser Bestrahlungsart überging, wurde bereits erwähnt. In Amerika sind wohl noch früher ähnlich geartete Behandlungen durchgeführt worden. Pfahler berichtet 1926 über die Gabe von insgesamt 2000—7000 r in mehreren Sitzungen auf kleine Erkrankungsherde, welche gegen ihre gesunde Umgebung mit Blei abgedeckt waren. Je nach Sitz und Tiefenausdehnung der Krebsherde hält er Filterungen verschiedener Art bis zur filterlosen Bestrahlung herab für erforderlich. Die kombinierte Methode, bestehend aus Koagulation und Bestrahlung, zieht er im allgemeinen der reinen Bestrahlung vor. Einen wesentlichen Unterschied in der Wirkung zwischen Radium- und Röntgenbehandlungen kann Pfahler (1928) nicht erkennen. Schon etwa 2 Jahrzehnte arbeiten auch Grier und Martin bei Hautepitheliomen mit der fraktionierten Methode. Diese soll übrigens bereits vor 25 Jahren von Pusey angegeben worden sein. Grier bestrahlt den Krebsherd und eine schmale, gesunde, den Herd umgebende Randzone mit ungefilterter Röntgenstrahlung von 100 kV. In einer Sitzung gibt er etwa 800—1000 r. An aufeinanderfolgenden Tagen oder in Abständen von einem Tage werden diese Bestrahlungen bis zu einer höchsten Gesamtdosis von 4000—8000 r wiederholt. Bei etwa 1000 so behandelten Fällen sah Grier gute Resultate. Rezidive und sehr tiefreichende Tumoren behandelt auch er mit 200-kV-Strahlung und 0,5-mm-Cu-Filterung durch Gabe einer Volldosis und Aufsättigung während 1—2 Monaten nach Pfahler. Martin arbeitet mit einer 0,5 mm Al gefilterten Röntgenstrahlung von 80—90 kV und 25 cm FHA. Je nach Feldgröße (2 bis

5 cm Durchmesser) gibt er in einer Sitzung 550—650 r. Die Bestrahlungen erfolgen jeden Tag bis zu einer Gesamtdosis von 6000—7000 r bei wirklichen Epitheliomen. Abheilung tritt nach etwa 2—6 Wochen ein. Wenn regionäre Drüsen noch nicht befallen waren, konnte Martin 96% 5-Jahresheilungen erzielen. Röntgenkrebse sind ihm bei den Nachuntersuchungen nicht begegnet. Zum Schutze der Umgebung benutzte Martin (1929) Tubusse von 2—6 cm Durchmesser.

Die Technik hat vor etwa 6 Jahren die sog. „Nahbestrahlungsröntgenröhre" entwickelt. Soweit sich ihre Anwendung auf die Beeinflussung oberflächlich gelagerter Tumoren bezieht (Chaoul), entspricht diese Behandlungsweise ungefähr denjenigen von Grier und Martin. Die Gesamtdosen werden jedoch an manchen Stellen bis 3mal so hoch angegeben. Allerdings liegen Veröffentlichungen über die genaue Meßweise der von Chaoul angegebenen Dosen nicht vor.

Die fraktionierte Bestrahlungsweise wird auch bei ganz weicher Röntgenstrahlung angewendet, wenn damit Hautkrebse beseitigt werden sollen. Schon 1909 hat F. Schultz mit Röntgenstrahlen von etwa 20 kV bei Verwendung eines Lindemannfensters Hautepitheliome zum Verschwinden ohne Teleangiektasenbildung gebracht. Nach technischer Weiterentwicklung hat dann später Bucky dieses Verfahren wieder aufgenommen. Mit etwas härterer Strahlung hat Del Buono (1928) flache Hautkrebse zum Verschwinden gebracht.

II. Fragestellungen.

Angesichts der verschiedenartigen Röntgenstrahlengemische, welche für die Behandlung oberflächlich gelagerter Tumoren angewendet werden, erschien es notwendig, bei Verwendung derzeitiger Röntgenröhrentypen und wohldefinierter Hochspannungserzeuger, die physikalischen Bestrahlungsunterlagen festzustellen.

Der vergleichende Überblick beleuchtet auch einige wichtige Bestrahlungsbedingungen bei Radiumbehandlungen. Es wurden dann Erkrankungsfälle wohldefinierten Bestrahlungsbedingungen unterworfen. Bei der Entscheidung über die hierbei anzuwendenden Bestrahlungsarten waren neben den bereits bestehenden klinischen Erfahrungen die neugewonnenen Erkenntnisse über die Zusammenhänge der physikalischen Grundlagen richtunggebend.

Die auf diese Weise gewonnenen Erfahrungen, zusammen mit den im Weltschrifttum niedergelegten Mitteilungen, mögen dazu beitragen, die Röntgenstrahlenbehandlung oberflächlich gelagerter Tumoren sowohl in technischer als auch in biologisch-medizinischer Hinsicht klarer zu

erfassen und somit die verschiedenartigen Erkrankungsfälle zielsicherer den günstigsten Behandlungsweisen zuzuführen. Andererseits soll auch der Technik durch die vergleichende Gegenüberstellung der physikalischen Bestrahlungsgrundlagen auf diesem Therapiegebiete Anregung gegeben sein.

III. Die verwendeten Bestrahlungsanlagen.

a) Strahlenquellen.

Um einen möglichst ausgedehnten Bereich verschieden stark durchdringender Röntgenstrahlen auf die physikalischen Bestrahlungsunterlagen hin untersuchen zu können, standen 4 verschiedenartige Röntgenröhrentypen zur Verfügung. Für Strahlengemische mit sehr geringer Eindringtiefe (HWS in H_2O bis 1,5 mm) diente ein kleines Rohr mit einer Antikathode aus Wolfram und einem Lindemannfenster (L-Rohr) von etwa 0,28 mm Dicke. Es konnte bei Dauerbetrieb gefahrlos mit 3 mA und 10—40 kV belastet werden. Die Antikathode (AK) war unter einem Winkel von nahezu 45° zum erzeugenden Kathodenstrahl angeschnitten, so daß der Brennfleck in Richtung des Zentralstrahles, welcher zum erzeugenden Kathodenstrahl senkrecht steht, möglichst rund erschien. Dadurch wird ein gleichmäßigerer Intensitätsabfall im Röntgenstrahlenbündel vom Zentrum zur Peripherie hin ermöglicht. Eine Luftkühlung mit einem Ventilator war für das Rohr ausreichend.

Strahlengemische mit einer HWS in Wasser zwischen 2,5 und 6,5 mm wurden in einem Siemens-Oberflächentherapierohr (O-Rohr) und außerdem auch in einem Siemens-Nahbestrahlungsrohr (N-Rohr) erzeugt. Das O-Rohr konnte im Dauerbetrieb mit 3 mA und 30—75 kV belastet werden. Es hatte eine Wolfram-AK, welche zum Kathodenstrahl steiler als 45° angeschnitten war. Daher erschien das Lochkamerabild des Brennfleckes in der Zentralstrahlenrichtung elliptisch. Dies hat einen Nachteil bezüglich der Gleichmäßigkeit des peripheren Intensitätsabfalles im Röntgenstrahlenbündel, der sich bei größeren Bestrahlungsfeldern unerwünscht bemerkbar machen kann. In unserem Fall aber ordneten wir die Tubusse so an, daß sich auch bei Feldern von 10×10 cm² keine unerträglichen Intensitätsunterschiede zeigten (s. weiter unten unter Tubusse). Zur Kühlung reichte auch hier bei Dauerbetrieb ein Ventilator aus. Die Bauart und die genaueren Betriebsbedingungen des N-Rohres wurden in einer früheren Arbeit eingehend dargestellt [s. Messungen räumlicher Dosisverteilung bei Nahbestrahlungen, Ernst, Frik und Ott[1])]. Das N-Rohr hält einen Dauerbetrieb mit 2 mA und 60 kV bei Wasserkühlung aus.

[1]) Strahlenther. **52**, 5.

Strahlengemische mit 18 mm HWS und mehr in Wasser wurden in einem Osram-Dickwandtherapierohr (D-Rohr) erzeugt. Dieses Rohr wurde im Dauerbetrieb mit 6 mA und 60—180 kV belastet. Eine Ölkühlung fand hier Anwendung.

b) Hochspannungsquellen.

Zum Betrieb des L-Rohres und der D-Röhre dienten 2 Stabilivoltanlagen (Liebenow-Greinacher-Schaltung). Für das L-Rohr war die Isolierung der Apparatur, entsprechend ihrer Verwendung bis nur 40 kV, gering. Die Kondensatoren waren aber verhältnismäßig groß bemessen, so daß sich für diesen Stabilivolt die Welligkeit zu ± 90 V pro 1 mA Rohrstrom errechnete. Bei ungünstigsten Betriebsbedingungen von 3 mA und 10 kV schwankte somit die kk-Gleichspannung um ± 2,7%. Diese große, wohldefinierte Spannungskonstanz erscheint mir auch gerade bei den so wenig durchdringenden Strahlengemischen recht wesentlich, um eindeutige Verhältnisse und große Intensitätsausbeuten zu erhalten. Leider ist hierauf bis heute wenig Wert gelegt worden. Als Spannungsquellen für das O- und N-Rohr dienten Kondensator-Halbwellenschaltungen. Aus bestrahlungstechnischen Gründen muß der eine Pol der N-Rohranlage geerdet sein, während bei der O-Rohranlage eine Erdung nicht benötigt wurde. Die in die Röhrenstromkreise eingebauten Sicherungswiderstände bewirken eine Abhängigkeit der Spannung von der Belastung. Es wurden daher an allen Apparaturen die am Rohr liegenden Spannungen mit einer parallel gelegten 25-cm-Kugelfunkenstrecke bestimmt, und zwar immer bei den Rohrstromstärken, die auch bei den übrigen Messungen und den Bestrahlungen angewendet wurden. Die kk-Gleichspannungen an den zwei letztgenannten Apparaturen und an dem Stabilivolt für das D-Rohr schwankten maximal um ± 5% bei den verwendeten Belastungen.

Zur Kontrolle der Spannungen dienten, nach den Eichungen mit der Kugelfunkenstrecke, eingebaute Primärvoltmeter. Diese bestanden an den Anlagen zur Erzeugung wenig durchdringender Röntgenstrahlen in besonders empfindlichen Drehspulinstrumenten mit Spiegelablesung, da es hierbei ja auf besonders große Konstanz der Einstellung ankommt. Als Milliamperemeter wurden nur Instrumente mit gut ablesbaren Skalen benutzt.

c) Tubusse.

Da die möglichst genaue Einhaltung eines festgelegten Fokus-Hautabstandes (FHA) und einer bestimmten Bestrahlungsfeldgröße für vergleichende Messungen und Bestrahlungen unbedingt notwendig ist, wurde überall ein Bestrahlungstubus angewendet. Bei Kontaktnahbestrahlungen sinkt sein Höhenwert praktisch auf Null zusammen. Am D-Rohr wurde

der Holfeldertubus, evtl. mit geeigneter Bleiblende, am hautnahen Tubusende verwendet. Für das L- und O-Rohr, also für wenig durchdringende Strahlengemische, wurden brauchbare Tubusse konstruiert. Ihr Ende, welches der Haut aufgesetzt wird, blieb offen. Am entgegengesetzten, rohrnahen Tubusende ist eine Bleiblende eingebaut, welche man so groß wählt, daß das hautnahe Tubusende gerade ausgestrahlt wird. Die zentrale Achse des Tubus muß ungefähr mit dem Intensitätsmaximum des unausgeblendeten Strahlenkegels zusammenfallen, welches vor dem Tubusbau durch Messungen mit einer Ionisationskammer oder auf photographischem Wege ausreichend genau bestimmt wurde. Bei manchen Röntgenröhren mußten die Tubusse etwas schief auf die Tutohaube aufgesetzt werden, damit die genannte Bedingung erfüllt war. Die

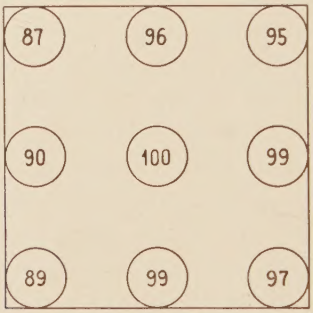


Bild 1. Prozentuale Verteilung der Dosisleistung in einem 10×10-cm²-Feld eines Tubus am Siemens-Oberflächen-Therapierohr (36,5 cm FHA, 75 kV, 0,1 Al + 0,08 mm Cellophan).

Tubusse wurden aus Messingrohr bzw. Holz oder Pappe angefertigt. Sie waren in ihrer Höhe so bemessen, daß der FHA immer 30—40 cm (in unserem Fall genau 36,5 cm) betrug. Durch diesen verhältnismäßig großen Abstand wurde eine hinreichend gleichmäßige Intensitätsverteilung selbst in großen Feldern erzielt. Siehe als Beispiel auf Bild 1 die prozentuale Verteilung der Dosisleistung in einem 10 × 10-cm²-Feld eines Tubus am O-Rohr. (Die kleinen Kreise zeigen den jeweiligen Ort und die Ausdehnung der Meßkammer im Verhältnis zum 10×10-cm²-Feld.) Die größte Dosisleistungsschwankung beträgt in diesem Fall 13%. Auch am L-Rohr, selbst bei der niedrigsten Spannung von 10 kV, konnten ähnlich günstige Feldausmessungen bei 36,5 cm FHA und 0,08 mm Cellophanfilterung erhalten werden. Weil sich für prozentual kleine Änderungen des FHA das quadratische Abstandsgesetz nur unbedeutend auswirkt und weil die Schwächung selbst des langwelligsten Strahlengemisches (10-kV-Strahlung) in wenigen Zentimetern Luft gering ist (bei 40 cm FHA beträgt sie rund 20% für eine sich anschließende Luft-

schicht von 13 cm Dicke), sind die Dosisleistungsschwankungen, welche theoretisch bei großen Feldern infolge der Vergrößerung des FHA vom Feldzentrum zum Feldrand hin und infolge nie völliger Ebenheit der zu bestrahlenden Körpergegend auftreten müssen, auf ein Minimum verringert. Man vergegenwärtige sich im Gegensatz dazu die in dieser Hinsicht ungünstigeren Verhältnisse beim N-Rohr.

Bei den im Gebrauch zu erwartenden Schwankungen des FHA um wenige Zentimeter folgt keine Änderung der Strahlengemische von 20 kV aufwärts, wenn man den FHA 30—40 cm groß wählt. Bei dem 10-kV-Strahlengemisch ist in 40 cm FHA noch eine Änderung der Schwächung in Luft nachweisbar, doch ist sie für nur wenige Zentimeter dicke Luftschichten gering. Dies kann aus Tabelle I ersehen werden, welche für Strahlengemische von 10 und 20 kV die Schwächungen in Prozenten durch jeweils 13 cm dicke Luftschichten zwischen den angegebenen Fokus-Kammerabständen (FKA) wiedergibt. Zur Messung diente eine Faßkammer. Die Blende war unabhängig von der Kammer aufgestellt. Das ausgeblendete Strahlenbündel wurde bei keiner Faßkammerstellung abschattiert. Der FKA bezieht sich auf den Abstand zwischen Meßelektrodenmitte und Fokus.

Tabelle I.

kV	FKA in Zentimetern	Schwächung in Prozenten	kV	FKA in Zentimetern	Schwächung in Prozenten
10	26	23	20	26	13
	39	19		39	11
	52	17		52	11
	65	17		65	11
	78			78	

Zwischen Tubusansatz und Tutohaube ist ein Verschlußschieber aus Blei eingebaut worden, welcher am Schalttisch im Nebenraum bedient wird. Wegen der Luftkühlung des L- und O-Rohres wurden ihre Tutohauben an der Stelle des Strahlenaustrittes mit einem 0,08 mm dicken Cellophanblatt abgedichtet, damit der Luftstrom nicht durch den Tubus an die Bestrahlungsstelle des Patienten gelangen konnte. Auch die Metallfilter konnten am Tubusansatz eingeschoben werden.

IV. Bestimmungen der Einfalldosisleistungen (r/sec-Werte) für die angewendeten Bestrahlungsbedingungen.

Am L- und O-Rohr bei allen angewendeten Hochspannungen und am D-Rohr für Hochspannungswerte zwischen 60 und 120 kV wurden die Werte der Einfalldosisleistungen für diese Strahlengemische mit einer Faßkammer gemessen. Da die Dimensionierung unserer Faß-

kammer für sehr durchdringende Tiefentherapiestrahlung nicht sicher ausreichte, wurden die Einfalldosisleistungen für Strahlengemische des D-Rohres bei Hochspannungswerten zwischen 110 und 180 kV mit einer für diese Strahlengemische wellenlängenunabhängigen Fingerhutkammer (PTR-Eichung) bestimmt. Die dabei in doppelter Weise gemessenen Werte zwischen 110 und 120 kV zeigten Übereinstimmungen bis auf 2%. Am N-Rohr wurden besonders kleine Sondenkammern, deren Wellenlängenunabhängigkeit für den dort in Frage kommenden Bereich sichergestellt war, zur Eichung verwendet. Die Messung der Ionisationsströme, welche in der Fingerhutkammer und in den Sondenkammern erzeugt wurden,

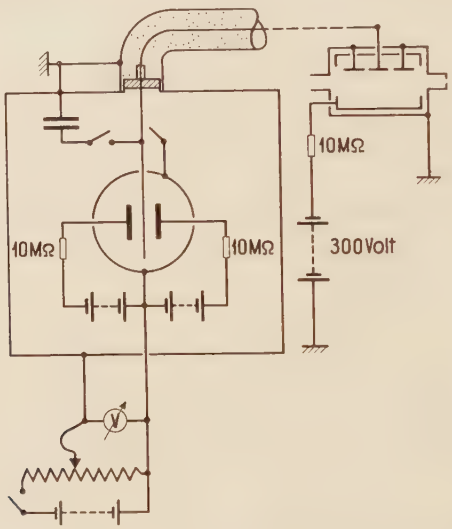


Bild 2. Schaltschema für Faßkammermessungen.

geschah mit einem Siemens-Momentandosismesser. Mit den in der Faßkammer erzeugten Ionisationsströmen wurde der Ladezustand eines Fadenelektrometers und eines ihm zugeschalteten Kondensators beeinflußt, seine Änderung gemessen und daraus auf den Ionisationsstrom geschlossen. Vergleiche hierzu das Schaltschema des Bildes 2. Bisweilen wurde an die Stelle des Kondensators ein bekannter Widerstand gelegt und durch Messung der an ihm auftretenden Spannung die Größe des Ionisationsstromes bestimmt. Nach Ablesung von Temperatur und Barometerstand während der Eichung und bei Kenntnis des Wirkvolumens der Faßkammer sind alle Größen für die Errechnung des r/sec-Wertes am Ort der Blende gegeben, vorausgesetzt, daß das zu messende Strahlengemisch keine meßbare Schwächung in einer Luftschicht erfährt, deren Dicke dem Abstand Begrenzungsblende -Meßelektrodenmitte entspricht. Dieser

Abstand betrug bei der zur Verfügung stehenden Faßkammer 13 cm. Die Strahlengemische des L-Rohres und zum Teil auch die des O-Rohres zeigten aber eine meßbare Absorption in 13 cm Luft, vom hautnahen Tubusende aus gerechnet. Für sie mußte eine Korrektur der r/sec-Werte vorgenommen werden, da die Blende, welche das Strahlenbündel begrenzte, bei den Eichungen in die Ebene des hautnahen Tubusendes gebracht wurde. Der zur Korrektur notwendige Faktor ergab sich durch Messung der Entladungszeit einer bestimmten Voltzahl in 2 Stellungen der Faßkammer: a) in ihrer Eichstellung und b) nach ihrer Verschiebung 13 cm fokuswärts, so daß die Meßelektrodenmitte in die Ebene des hautnahen Tubusendes fiel. Die Blende blieb bei beiden Stellungen der Faßkammer am gleichen Ort, so daß das Strahlenbündel dabei keine Veränderung erfuhr. Die Faßkammer maß lediglich an den 2 verschiedenen Bereichen des Bündels, die sich um 13 cm in ihrem Fokusabstand unterschieden. Der Quotient beider Entladungszeiten ergibt den Faktor F der Absorption der Strahlung in 13 cm Luft vom Tubusende aus, dessen FHA 36,5 cm beträgt. Mit ihm müssen die Eichwerte multipliziert werden. Tabelle II zeigt die Größe des Faktors F für die verschiedenen Strahlengemische.

Tabelle II.

Rohr	kV	Filter in Millimetern	F	Rohr	kV	Filter in Millimetern	F
L	10	0,08 Cellophan	1,26	O	50	0,08 Cellophan	1,05
	20	0,08 Cellophan	1,15		75	0,08 Cellophan	1,0
	30	0,08 Cellophan	1,14		75	0,08 Cellophan + 0,1 Al	1,0
	40	0,08 Cellophan	1,13		75	0,08 Cellophan + 0,2 Al	1,0

Aus Tabelle II ergibt sich, daß diese Korrektur nur bei den Strahlengemischen des L-Rohres und bei dem O-Rohr bis etwa 50 kV ausgeführt werden muß.

Die genauen Werte der Einfalldosisleistungen im einzelnen hier aufzuführen, scheint überflüssig, da sie für verschiedene gleichartige Röhren trotz genauester Einhaltung aller übrigen Erzeugungsbedingungen gewissen Schwankungen unterworfen sind, die ihren Grund in der etwas verschiedenen Röhrenbeschaffenheit haben (Brennfleck, Fensterdicke usw.). Dies trifft besonders für die L-Röhren zu. Hingegen hat sich gezeigt, daß ein und dasselbe Rohr über lange Zeit praktisch konstante Dosisleistungen aufweisen kann. Ein O-Rohr, welches sich bei täglich mehrfacher Verwendung über $^3/_4$ Jahre im Gebrauch befand, zeigte völlige Konstanz der Dosisleistungen.

Lehrreich aber ist ein Überblick über die Größenordnungen der Einfalldosisleistungen bei unseren Betriebsbedingungen an den verschiedenen Rohrtypen. In Tabelle III ist dieser Überblick gegeben.

Tabelle III.

Größenordnungen der Einfalldosisleistungen (r/sec-Werte).

	kV	mA	Filter	FHA	r/sec
Osram-Dickwand-therapierohr	180	6	0,6 mm Cu	36,5 cm	$^1/_2$
	110	6	kein	36,5 cm	$^1/_2$
	60	6	kein	36,5 cm	$^1/_{10}$
Siemens-Oberflächen-therapierohr	50	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	1
	75	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	$1^1/_2$—2
	75	3	0,08 mm Cellophan + 0,1 mm Al	36,5 cm	1
	75	3	0,08 mm Cellophan + 0,2 mm Al	36,5 cm	$^3/_4$—1
Siemens-Nahbestrahlungs-rohr	60	2	Kohle-Al-Kombination	etwa 1 cm (Kontakt)	9
	60	2	kein	5 cm (Tubus)	2—3
Rohr mit Lindemannfenster (etwa 0,28 mm + 1 mm Beryllium)	10	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	$^1/_{10}$
	20	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	1
	30	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	2
	40	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	3

Man ersieht hieraus, daß unter den angegebenen, praktisch anwendbaren Bestrahlungsbedingungen die Einfalldosisleistungen der D-Röhre um rund eine Größenordnung kleiner sind als die der L-, O- und N-Röhren. Unter letzteren überragen die Kontaktbestrahlungen mit dem Kohle-Al-Kombinationsfilter den Durchschnitt fast um eine weitere Größenordnung, während das L-Rohr bei niedrigsten Spannungen (10 kV) nur Dosisleistungen liefert, welche um eine Größenordnung kleiner sind als der Durchschnitt.

V. Bestimmung des Abfalls der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe an einem wassergleichen Phantom für die angewendeten Strahlengemische.

Bei einer Strahlenbehandlung muß, außer der genauen Kenntnis der verabfolgten Oberflächendosis (Einfalldosis und Streuzusatz), auch der Abfall der prozentualen Dosisleistung des verwendeten Strahlengemisches in die Tiefe überblickt werden. Dies gilt nicht nur für die Tiefentherapie, sondern auch gerade bei der Strahlenbehandlung oberflächlich gelagerter Tumoren müssen wir sofort abschätzen können, wieviel Dosis der Tumor in seinem tiefsten Bereich noch erhält und ob die darunterliegenden gesunden Gewebe ausreichend bei der Bestrahlung geschont werden. Durch eine vergleichende Betrachtung solcher Tiefenkurven von Strahlungsgemischen, welche in verschiedenen Röhrentypen erzeugt wurden, erkennen wir auch die Unterschiede ihrer Einwirkungen.

a) Meßanordnung.

Da Tiefenkurven auch noch bei Strahlengemischen von 10 kV Erzeugungsspannung gemessen werden sollten, konnten die üblichen kleinen Sondenkammern mit dünnem Gummiüberzug, in Verbindung mit einem Wasserphantom, wegen der zu großen Absorption so weicher Strahlung in der Kammerwand nicht verwendet werden.

Es wurde deshalb eine besonders flache Ionisationskammer gebaut, welche in eine geeignete Phantommasse eingebettet werden konnte (s. Bild 3). Die kreisförmige Oberflächenausdehnung (Durchmesser 20 mm) war im Verhältnis zur Tiefe (2,5 mm) so groß, daß das Wirkvolumen

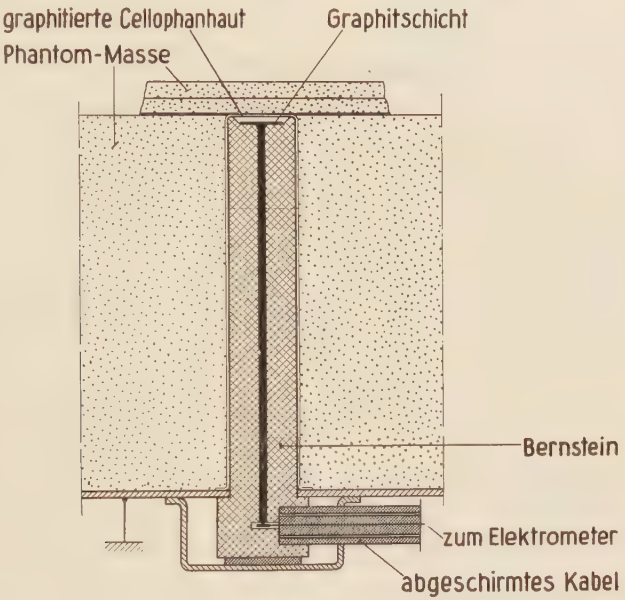


Bild 3. Aufriß der Phantomkammer.

dieser Kammer (0,5 cm^3) ausreichte, um alle in Frage kommenden Messungen durchzuführen. Das Wirkvolumen dieser Phantomkammer erwies sich für alle zu diesen Messungen verwendeten Röntgenstrahlengemische ausreichend konstant. Die Kammer war also für die Strahlengemische von 10—120 kV praktisch wellenlängenunabhängig. Der Boden der Kammer hatte einen Durchmesser von 14 mm. Dieser kegelstumpfartige Hohlraum war aus einem axial durchbohrten massiven Bernsteinzylinder (22 mm Durchmesser und 14,5 cm Höhe) an der Stirnfläche ausgedreht. In der Bohrung lief, dem Bernstein eng anliegend, ein dünner Aluminiumstab, welcher die Verbindung der Meßelektrode mit dem zum Elektrometer führenden abgeschirmten Kabel herstellte. Die Meßelektrode war einfach der gut graphitierte Kammerboden. Die andere,

geerdete Elektrode bestand aus einer 0,02 mm dünnen, innen graphitierten Cellophanhaut, welche eng anliegend den größten Teil des Bernsteinzylinders umgab und als Verschluß den Kammerraum straff überspannte. Der Bernsteinzylinder saß senkrecht in der Mitte eines stabilen, geerdeten Metallkastens (35 cm Länge, 25 cm Breite und 12 cm Tiefe), welcher an seinem Boden die Kabeleinführung enthielt.

Die Phantommasse war zu einem Quader von der Größe des Kastenlumens geformt, der in seiner Mitte eine Bohrung von solchem Ausmaß hatte, daß der Bernsteinzylinder gerade hineinpaßte. Außerdem waren noch ausreichend große plane Scheiben verschiedenster Dicke (von 1 mm bis 2 cm) aus dieser Phantommasse gepreßt, welche über die Kammer bis zu einer Dicke von 10 cm übereinandergeschichtet werden konnten. Die sehr dünnen Platten hatten eine kleinere Flächengröße, welche aber für die bei den Messungen verwendeten Feldgrößen noch reichlich bemessen war. Ihre genaue Dicke wurde mit der Mikrometerschraube an mehreren Stellen bestimmt. Die dabei auftretenden Schwankungen betrugen selbst bei den dünnsten Platten nur wenige Prozent. Aus 8 über die Fläche verteilten Messungen wurde immer der Mittelwert der endgültigen Dickenbestimmung gewonnen.

Die Herstellung der Phantommasse geschah mit dem Ziele, eine beständige, hinreichend homogene, zu Platten gut verarbeitbare Masse zu erhalten, welche für Röntgenstrahlen eine dem Wasser annähernd gleiche Absorption zeigte. Sie wurde durch Beschwerung von Paraffin mit aus Lösung gefälltem Magnesiumoxyd erhalten. Das Gewichtsverhältnis betrug 100 : 21. Das spezifische Gewicht wurde nach der Schwebemethode bestimmt und war, abgesehen von 2% Schwankungen, praktisch 1. Vergleichende Absorptionsmessungen von lang- und kurzwelligen Strahlengemischen (180 und 100 kV am D-Rohr) an völlig gleichen Schichtdicken aus Wasser und aus dieser Phantommasse ergaben keinen meßbaren Unterschied. Auch die Bestimmung des Streuzusatzes, in Abhängigkeit von der Feldgröße, bei Tiefentherapiestrahlung (180 kV am D-Rohr) ergab keinen außerhalb der Meßfehlergrenze liegenden Unterschied bei Benutzung von Wasser oder Phantommasse als Streukörper.

Wir haben also in dieser Phantommasse einen idealen Ersatz für ein Wasserphantom. Es wird damit möglich, ganz dünnwandige, im Wasser undichte Kammern zur Tiefenkurvenbestimmung zu verwenden. Die Dosisleistungen wenige Millimeter unter der Oberfläche können ohne Zuhilfenahme genauer Verschiebeeinrichtungen für die Meßkammer einfach durch Auflage entsprechend dünner Phantommasseplatten auf die Meßkammer bestimmt werden.

Die Messungen des Abfalls der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe mit der eben beschriebenen Phantomkammer wurden bei Verwendung eines Fadenelektrometers ausgeführt. Bild 4 zeigt das Schaltschema für diese Phantomkammermessungen. Etwa 110 V wurden dem

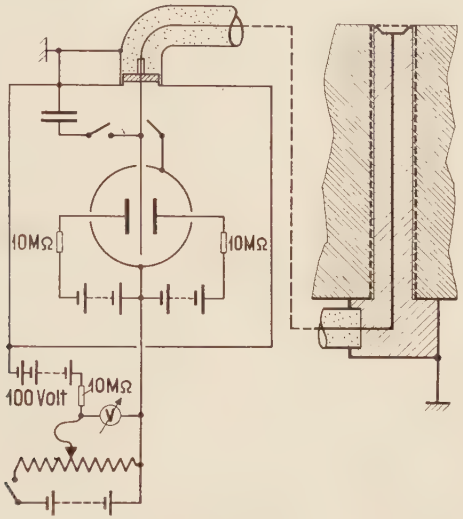


Bild 4. Schaltschema für Phantomkammermessungen.

System, bestehend aus Elektrometerfaden, Kondensator und Meßelektrode, aufgedrückt. Der in der Kammer bei Bestrahlung fließende Ionisationsstrom erniedrigt diese Aufladung des Systems. Die Feststellung der

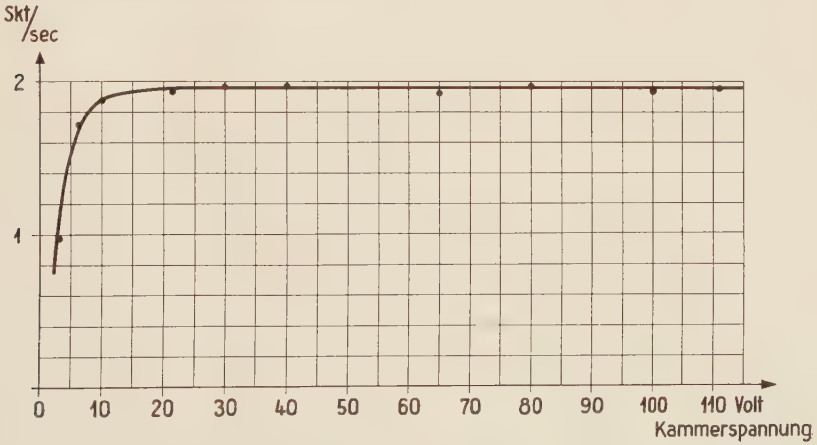


Bild 5. Aufladegeschwindigkeit des Elektrometers in Abhängigkeit von der Phantomkammerspannung (Sättigungskurve). Rohrbetrieb 20 kV, 3 mA, Elektrometerempf. 8,0 Skt/Volt.

Zeit, welche notwendig ist, um eine Ladungsänderung von einer bestimmten Voltzahl herbeizuführen, ergibt ein Maß für die Dosisleistung.

Voraussetzung für solche Messungen ist eine gute Isolation des Meßsystems oder eine genaue Kenntnis des durch ungenügende Isolation bedingten Ganges des Elektrometers. An sehr feuchten Tagen war eine

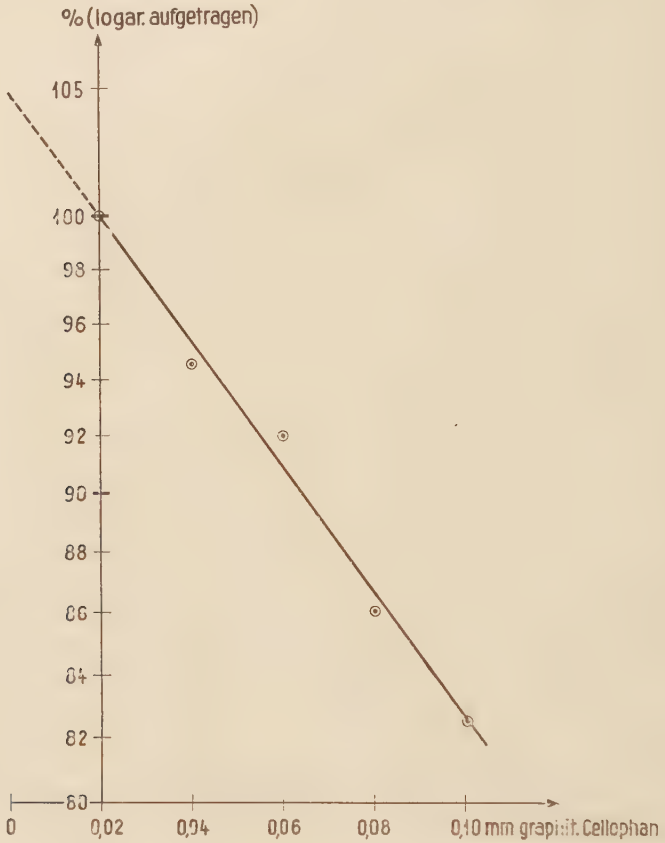


Bild 6. Prozentuale Änderung der mit der Phantomkammer bei sehr weicher Röntgenstrahlung (10 kV) bestimmten Dosisleistung in Abhängigkeit von der Kammerfensterdicke.

absolute Isolation des Systems trotz Anwendung schärfster Trockenmittel nicht zu erreichen. Solche Isolationsschwierigkeiten ergaben sich auch bei Anwendung der Meßkammer am N-Rohr, wenn zu kaltes Kühlwasser für die Röhre Verwendung fand. Es beschlug dann die Röhre auf ihrer Außenseite mit Wasser, und die umgebende Luft wurde so feucht, daß auch durch die Cellophanhaut kein genügender Schutz für die Kammer bestand. Nur kurze Inbetriebnahme des N-Rohres, Verwendung von

zimmerwarmem Kühlwasser bzw. ein trocknender warmer Luftstrom können diese Schwierigkeit bei den Messungen beheben.

Bei einem mittelgroßen Dosisleistungswert einer 20-kV-Strahlung am L-Rohr (1 r/sec) wurde die Aufladegeschwindigkeit des Elektrometers in Abhängigkeit von der Phantomkammerspannung bestimmt (Bild 5). Die bei den Messungen benutzte Ladungsdifferenz betrug $2^1/_2$ V. Sie entsprach einem Elektrometerfadenausschlag von 20 Skalenteilen. Während der Messung sank also die Kammerspannung um maximal $2^1/_2$ V. Aus dieser Sättigungskurve ist zu ersehen, daß bei der angewendeten Kammerspannung von etwa 100 V in ausreichendem Maße Sättigung für die Kammer vorhanden ist.

Für das langwelligste Strahlengemisch (L-Rohr, 10 kV) wurde die prozentuale Änderung der Dosisleistung in Abhängigkeit von der Kammerfensterdicke bestimmt (Bild 6). Es wurden bei den einzelnen Messungen graphitierte Cellophanschichten von je 0,02 mm Dicke in wachsender Anzahl aufgelegt. Der geradlinige Verlauf bei logarithmischer Auftragung der Prozente läßt erkennen, daß durch so dünne Fenster praktisch keine Homogenisierung auch bei so weichen Strahlengemischen unter der vorhandenen Vorfilterung eintritt. Durch Extrapolation (vgl. Bild 6) wird die Absorption der 10-kV-Strahlung im 0,02 mm dicken Cellophanfenster zu nur 5% ermittelt.

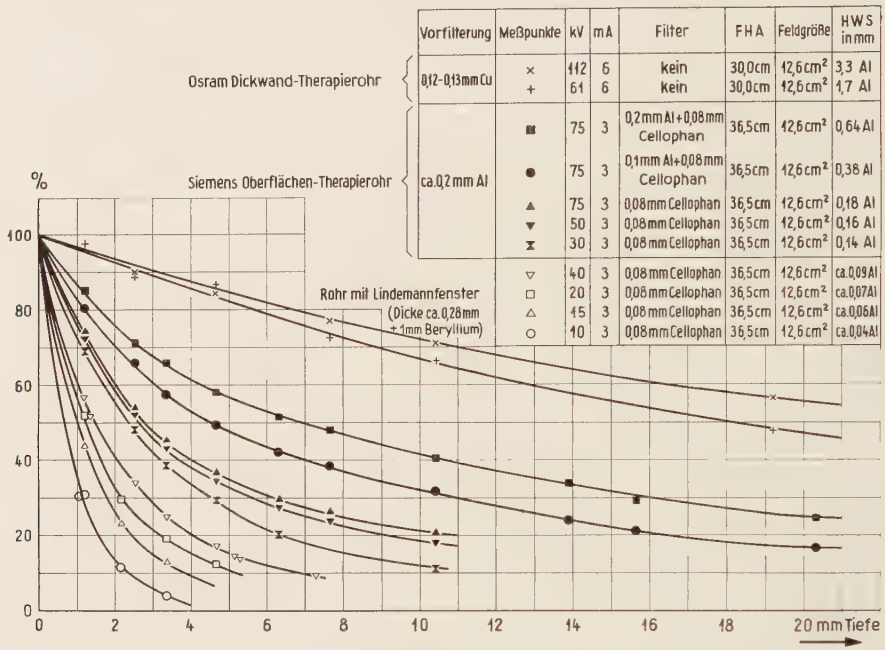
Die einzelnen Punkte einer Tiefenkurve wurden durch Auflage der verschieden dicken Platten auf die Meßkammer bestimmt. Die Tubusachse zielte immer genau auf die Mitte der Kammer, und das Tubusende wurde der Kammer bzw. der über ihr liegenden Phantommassenschicht unmittelbar aufgesetzt. Alle Messungen wurden auf den an der Oberfläche gemessenen Wert bezogen und dieser gleich 100 gesetzt.

b) Meßergebnisse.

Da die Strahlenbehandlung oberflächlich gelagerter Tumoren meist nur kleine Bestrahlungsfelder benötigt, wurden die Tiefenkurven bei 12,6-cm^2-Feldern (kreisrunde Felder mit 4 cm Durchmesser) ausgeführt. Die Halbwertschichten der verwendeten Strahlengemische in Al wurden zur besseren Orientierung ebenfalls gemessen. Es diente dazu hauptsächlich eine Faßkammeranordnung.

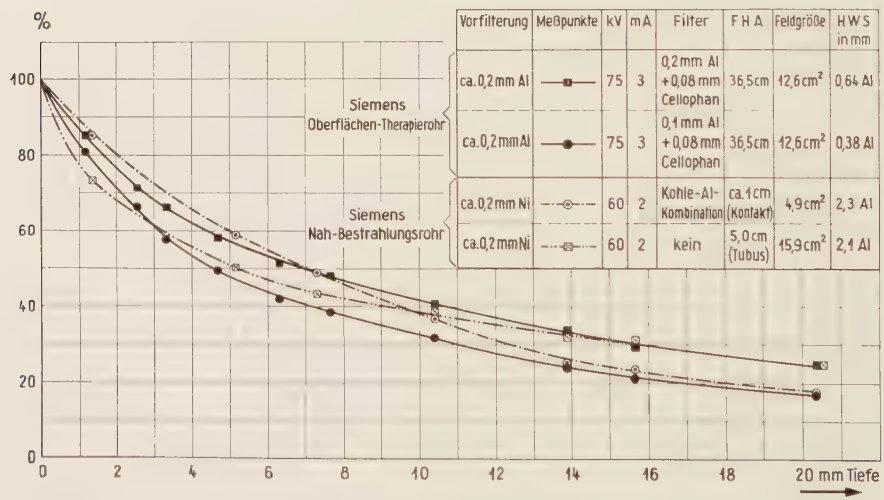
Bild 7 zeigt die Zusammenstellung der Messungen, welche am D-, O- und L-Rohr vorgenommen wurden. In der rechten Ecke des Kurvenbildes sind die wichtigen Einzelangaben bezüglich Vorfilterung, verwendeter Hochspannung, Röhrenstromstärke, Filter, FHA, Feldgröße und bestimmter HWS in Al übersichtlich aufgeführt. Durch die gewählte Markierung der Meßpunkte ist sofort zu überblicken, welche Tiefen-

wirkungen bei Verwendung der angeführten Röhren zu erwarten sind. Hervorzuheben ist der besonders deutliche Einfluß selbst geringer Al-Filterungen auf die Tiefenwirkung bei O-Röhren. Man vergleiche dazu



Vorfilterung	Meßpunkte	kV	mA	Filter	FHA	Feldgröße	HWS in mm
0,12–0,13 mm Cu	×	112	6	kein	30,0 cm	12,6 cm²	3,3 Al
	+	61	6	kein	30,0 cm	12,6 cm²	1,7 Al
ca. 0,2 mm Al	■	75	3	0,2 mm Al + 0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	0,64 Al
	●	75	3	0,1 mm Al + 0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	0,38 Al
	▲	75	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	0,18 Al
	▼	50	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	0,16 Al
	⧗	30	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	0,14 Al
	▽	40	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	ca. 0,09 Al
	□	20	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	ca. 0,07 Al
	△	15	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	ca. 0,06 Al
	○	10	3	0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	ca. 0,04 Al

Bild 7. Abfall der prozentualen Dosisleistung bis in 2 cm Tiefe der Phantommasse an dem L-, O- und D-Rohr unter den beigefügten Bedingungen.



Vorfilterung	Meßpunkte	kV	mA	Filter	FHA	Feldgröße	HWS in mm
ca. 0,2 mm Al	—■—	75	3	0,2 mm Al + 0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	0,64 Al
ca. 0,2 mm Al	—●—	75	3	0,1 mm Al + 0,08 mm Cellophan	36,5 cm	12,6 cm²	0,38 Al
ca. 0,2 mm Ni	---○---	60	2	Kohle-Al-Kombination	ca. 1 cm (Kontakt)	4,9 cm²	2,3 Al
ca. 0,2 mm Ni	---⊡---	60	2	kein	5,0 cm (Tubus)	15,9 cm²	2,1 Al

Bild 8. Abfall der prozentualen Dosisleistung bis in 2 cm Tiefe der Phantommasse an dem O- und N-Rohr unter den beigefügten Bedingungen.

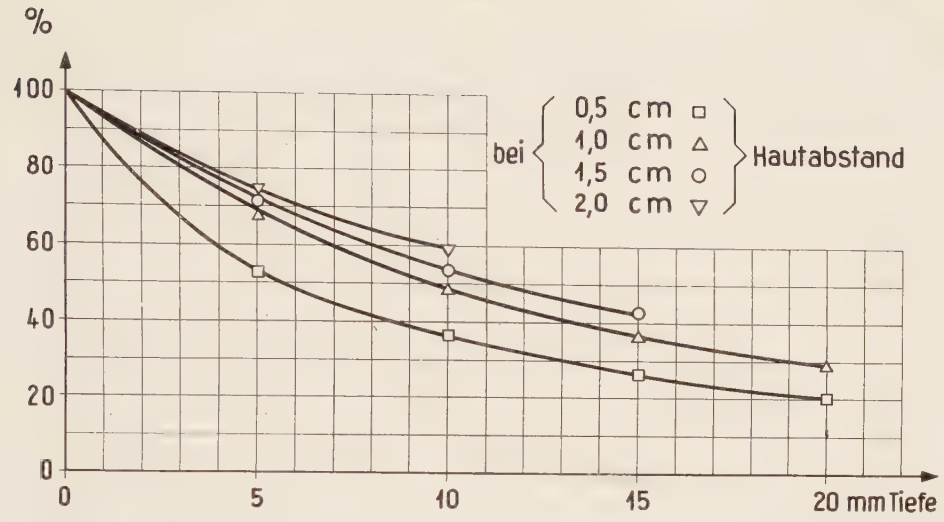


Bild 9. Abfall der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe eines Radiumpräparates von 12,6 cm² und 0,5 mm Pt-Filterung bei Hautabständen von 0,5—2,0 cm.

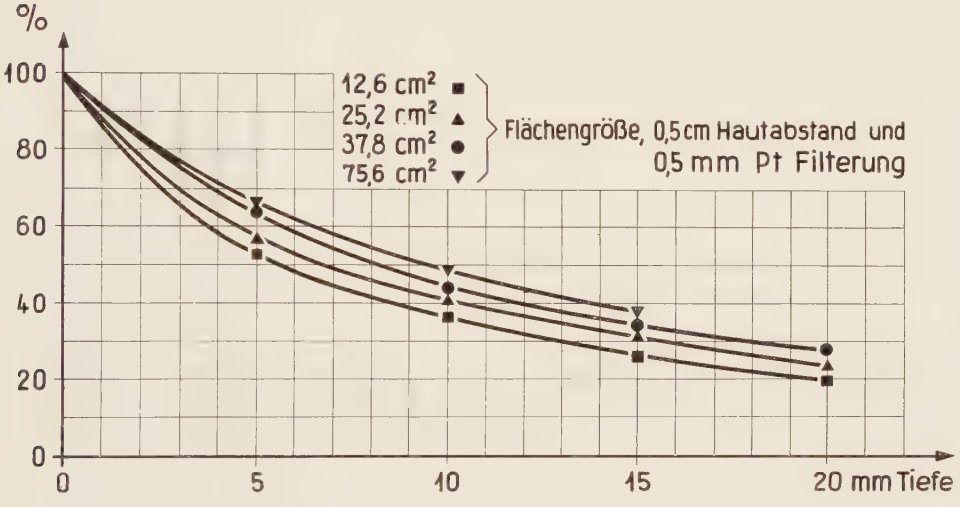
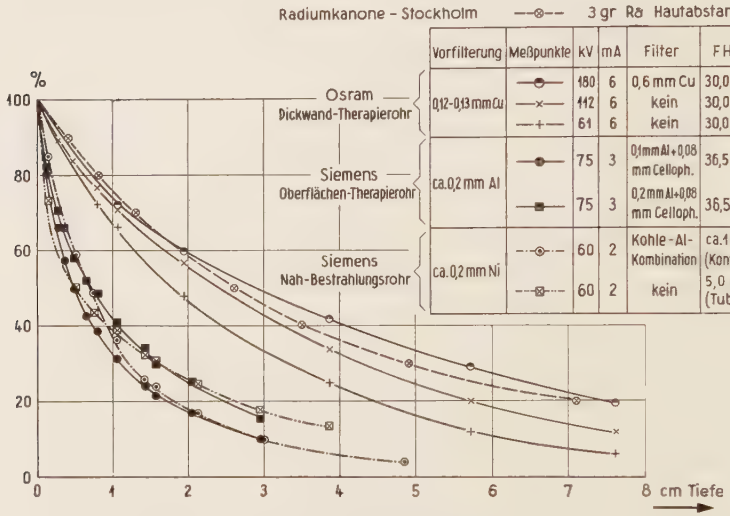


Bild 10. Abfall der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe der Radiumpräparate von 12,6—75,6 cm² Flächengröße, 0,5 cm Hautabstand und 0,5 mm Pt-Filterung.

die bei 75 kV ohne bzw. mit 0,1 und 0,2 mm Al-Filterung gewonnenen Kurven. Bild 8 zeigt vergleichend die Tiefenkurven eines N- und eines O-Rohres. Man erkennt, daß die Tiefenwirkungen unter den angewendeten Bedingungen an beiden Röhren praktisch die gleichen sind. Die Strahlengemische unterscheiden sich aber recht beträchtlich in ihrer mittleren Wellenlänge, wie das im Unterschied der HWS in Al (etwa 0,5 mm beim O-Rohr gegen etwa 2 mm beim N-Rohr) zu sehen ist.

Die gleichen Tiefenwirkungen der beiden Röhrentypen werden also auf verschiedene Weise verursacht. Beim O-Rohr ist der rasche Dosisleistungsabfall in die Tiefe vorwiegend auf die starke Absorption der langwelligen Strahlen zurückzuführen, während bei dem kurzwelligeren Strahlengemisch des N-Rohres die gleiche Tiefenwirkung in erster Linie durch die Auswirkung des quadratischen Abstandgesetzes bedingt wird.

Während in Bild 7 und 8 die Tiefenkurven höchstens bis in 2 cm Tiefe dargestellt sind, wurde ihr Verlauf in Bild 11 bis in 8 cm Tiefe



Vorfilterung	Meßpunkte	kV	mA	Filter	FHA	Feldgröße	HWS in mm
0,12-0,13 mm Cu	—●—	180	6	0,6 mm Cu	30,0 cm	12,6 cm²	1,07 Cu
	—×—	112	6	kein	30,0 cm	12,6 cm²	3,3 Al
	—+—	61	6	kein	30,0 cm	12,6 cm²	1,7 Al
ca. 0,2 mm Al	—●—	75	3	0,1 mm Al + 0,08 mm Celloph.	36,5 cm	12,6 cm²	0,38 Al
	—■—	75	3	0,2 mm Al + 0,08 mm Celloph.	36,5 cm	12,6 cm²	0,64 Al
ca. 0,2 mm Ni	--⊗--	60	2	Kohle-Al-Kombination	ca. 1 cm (Kontakt)	4,9 cm²	2,3 Al
	--⊠--	60	2	kein	5,0 cm (Tubus)	15,9 cm²	2,1 Al

Bild 11. Abfall der prozentualen Dosisleistung bis in 8 cm Tiefe der Phantommasse an dem D-, N- und O-Rohr und an einer Radiumkanone unter den beigefügten Bedingungen.

wiedergegeben. In diese Übersicht wurden auch noch zum Vergleich Messungen mit der üblichen Tiefentherapiestrahlung (180 kV, 0,6 mm Cu-Filter) eingezeichnet. Die Feldgröße war auch hier 12,6 cm². Außerdem sehen wir noch den Dosisleistungsabfall der Strahlung einer 3-g-Radiumkanone in einem Wasserphantom (Benner, Stockholm). Eine günstigere Tiefenwirkung ist bei der Radiumkanone gegenüber der Röntgentiefentherapie danach nicht vorhanden, selbst nicht bei so kleinen Bestrahlungsfeldern für Röntgenstrahlen.

VI. Bestimmung des Abfalls der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe bei Radiumpräparaten.

Um die Tiefenwirkung von flächenartig angeordneten Radiumpräparaten mit den im vorhergehenden Abschnitt wiedergegebenen Tiefenkurven, welche mit der neuzeitlichen Röntgentechnik zu erhalten

sind, zu vergleichen, verwendete ich die von Patterson und Parker veröffentlichten Angaben[1]). Diese Autoren zeichneten Kurven, aus denen Radiummengen und Bestrahlungszeiten, welche für die Gabe einer bestimmten Dosis erforderlich sind, für verschiedene Hautabstände und Feldgrößen entnommen werden können. Aus diesen Angaben ist es möglich, den Abfall der prozentualen Dosisleistung in die Tiefe zu berechnen. Es wurde dies ausgeführt:

1. für ein Radiumpräparat von 12,6 cm² Fläche und 0,5 mm Pt-Filterung in Abhängigkeit vom Präparat-Hautabstand (Bild 9):

2. für Radiumpräparate mit verschiedenen Flächengrößen bei einem konstanten Präparat-Hautabstand von 0,5 cm und 0,5 mm Pt-Filterung (Bild 10).

Vorausgesetzt ist dabei eine geeignete Flächenverteilung der Einzelpräparate zur Erreichung möglichst homogen durchstrahlter Felder (vgl. die Arbeit von Patterson und Parker). Vergleichen wir nun die Kurvenverläufe des Bildes 9 mit denjenigen der Bilder 7 und 8, so erkennen wir, daß die Kurve für ein 12,6 cm² großes Radiumpräparat, welches in 0,5 cm Hautabstand aufgebaut wurde, zwischen die Verlaufskurven eines O-Rohres bei 75 kV, 36,5 cm FHA und 0,1 bzw. 0,2 mm Al-Filterung fällt, während die Kurven für das Radiumpräparat bei größeren Hautabständen den Bereich zwischen der kurzwelligsten O-Rohrstrahlung und der langwelligsten D-Rohrstrahlung einnehmen. Im gleichen Sinne gelten diese Betrachtungen für die in Bild 10 wiedergegebenen Kurven beim Vergleich mit den Bildern 7 und 8. Da die Tiefenkurven des O-Rohres ungefähr mit denjenigen des N-Rohres unter den angegebenen Betriebsbedingungen zusammenfallen (vgl. hierzu die Meßergebnisse des vorhergehenden Abschnittes), so gelten die Vergleichsbetrachtungen zwischen Radiumpräparaten und O-Rohrstrahlung in praktisch analoger Weise auch für die N-Rohrstrahlungen.

VII. Streuzusatzbetrachtungen für diese Röntgenstrahlenbereiche.

Wie schon erwähnt, kommen bei der Bestrahlung oberflächlich gelagerter Tumoren vorwiegend kleine Felder zur Anwendung. Daher ist im allgemeinen nur mit einem sehr geringen Unterschied zwischen der Einfalldosisleistung und der Oberflächenwirkungsdosisleistung zu rechnen. Dieser Streuzusatz an der Haut- bzw. Phantomoberfläche beträgt im üblichen Tiefentherapiegebiet (180 kV, 0,6 mm Cu-Filterung) bei Anwendung eines 6×8-cm²-Einfallfeldes 25%. Bei Einblendung des Feldes auf 12 cm² sinkt der Streuumsatz auf 10% herab. Für die

[1]) Brit. J. Radiol. **7**, 592 (1934).

langwelligeren, weniger eindringenden Röntgenstrahlen ist ein noch kleinerer Prozentsatz zu erwarten.

Am N-Rohr wurde der Streuzusatz an der Wasseroberfläche bei uneingeblendetem Strahlenbündel und 2 cm FHA zu 25—30% bestimmt (s. die schon angeführte Arbeit: Messungen räumlicher Dosisverteilung bei Nahbestrahlungen).

Bei den zwei kurzwelligsten Strahlengemischen des O-Rohres (vgl. Bild 7) wurde der Streuzusatz am Phantom, bei einer Feldgröße von 150 cm^2, zu 10 und 5% ermittelt. Für die kleinen Felder (etwa 12 cm^2) war der Streuzusatz nicht mehr meßbar.

Am L-Rohr konnte für sein kurzwelligstes Strahlengemisch (40 kV) auch bei einer Feldgröße von 150 cm^2 kein Streuzusatz nachgewiesen werden.

VIII. Schlußfolgerungen aus diesen vergleichenden Meßergebnissen der physikalischen Bestrahlungsbedingungen.

Auf Grund vielseitiger Erfahrungen bei der Anwendung von Röntgen- und Radiumstrahlen zur Krankheitsbekämpfung beim Menschen und gestützt auf Ergebnisse experimentell-biologischer Forschungen (Holthusen u.a.) hat sich die Anschauung von der Wellenlängenunabhängigkeit des biologischen Geschehens entwickelt. Danach ist für den biologischen Effekt in erster Linie die gesamte Strahlendosis maßgebend, welche am Wirkungsort gegeben wird. Es müßte also, wenn man von den verschiedenen Wirkungen der Applikationsarten (Massivdosen, Protrahierung, Fraktionierung, Protrahierung + Fraktionierung) und der individuell bedingten Wirkungsverschiedenheit absieht, bei gleichem Tiefenverlauf der Dosisleistung verschiedener Strahlengemische die gleiche biologische Wirkung bei der Gabe einer gleichen Gesamtdosis hervorgebracht werden.

Auf unsere Meßergebnisse angewendet, würde dies besagen, daß sich Radium-, N- und O-Rohrbestrahlungen bei der Behandlung oberflächlich gelagerter Erkrankungen gegenseitig ersetzen können und daß auch Teleradium- und Röntgentiefenbestrahlungen gleich wirkungsvoll sind.

Die Vorteile der einen Bestrahlungsweise vor einer anderen sind danach nicht mehr in der Frage der räumlichen Dosisverteilung zu sehen, sondern in den Applikationsweisen. So müssen z. B. Radiumpräparate lange Zeit liegen, während N- und O-Rohrbestrahlungen in kurzer Zeit ausführbar sind. Radiumpräparate können an Stellen gebracht werden, welche für N- und O-Rohrbestrahlungen nicht direkt zugänglich sind und evtl. auch durch operative Eingriffe nicht zugänglich gemacht werden können. N-Rohrbehandlungen sind nur auf kleine Felder beschränkt. O-Rohrbehandlungen lassen hingegen homogene Bestrah-

lungen kleiner und größerer Felder zu. Diese Vor- und Nachteile lassen sich nach vielen Richtungen hin ausmalen, und diese Wertschätzungen werden immer bis zu einem gewissen Grade individuell bleiben.

Es wird immer Fälle geben, für welche die Anwendung einer bestimmten Methodik augenfällig einer anderen vorzuziehen ist, und Fälle, bei denen die verschiedenen Methoden sich gleichwertig gegenüberstehen. Von einem „vollwertigen Ersatz" der einen Methode durch die andere zu sprechen, erscheint mir daher falsch, und es ist nur zu bedauern, daß derartige Darstellungen nicht nur in der Presse auftauchen, wohin sie prinzipiell nicht gehören, sondern auch in unserer Fachliteratur.

Nicht in einer Methode, sondern in der geeigneten Auswahl einer der Methoden für jeden einzelnen Fall und in der guten Beherrschung aller für diese Auswahl in Frage kommenden Methoden wird der Fortschritt liegen.

Für das Röntgengebiet sind hiermit, nach dem derzeitigen Stand der Technik, die Grundlagen gegeben. Die geeignetsten Anwendungen herauszufühlen, bedarf jahrelanger kritischer Zusammenarbeit vieler. Im folgenden sei an mehreren Fällen die Beeinflussung oberflächlich gelagerter Tumoren durch Röntgenstrahlen verschiedener Erzeugungs- und Applikationsweisen beleuchtet.

IX. Behandlungsbeispiele.

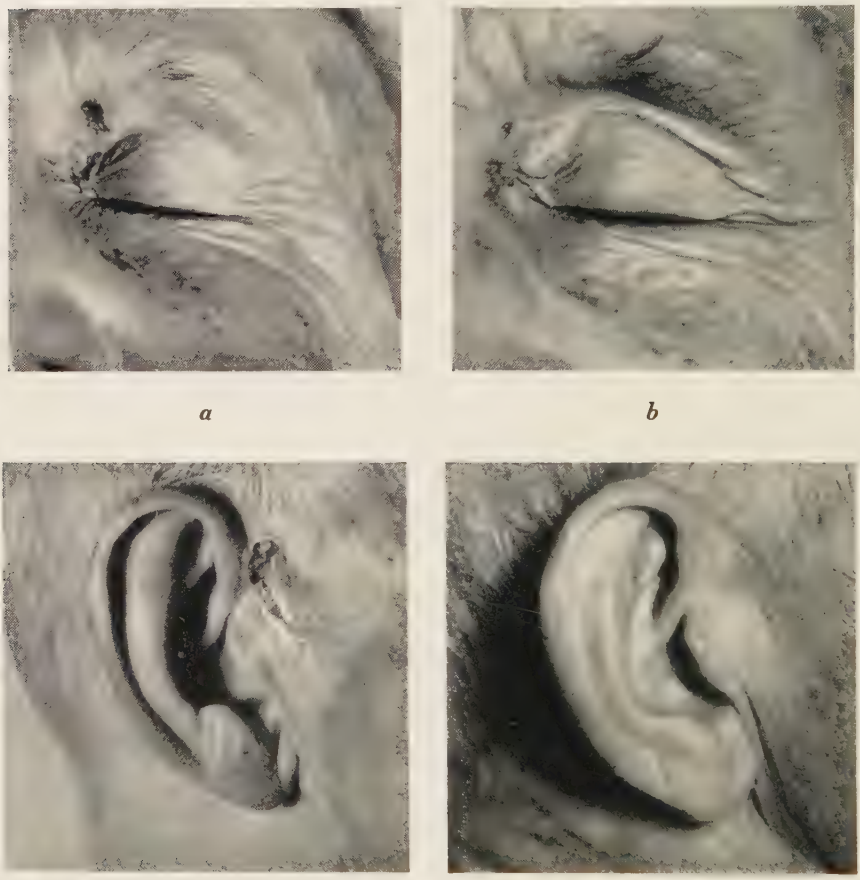
1. Ein 77jähr. Mann bemerkt seit etwa 1 Jahr eine immer größer werdende, verhärtete Stelle vor dem rechten Ohr, oberhalb des Tragus. Da in letzter Zeit eine Ulkusbildung im Erkrankungsbereich aufgetreten ist, kommt der Pat. zur Behandlung.

Bei der ersten Besichtigung, vor der Behandlung, wird ein etwa bohnengroßer Krankheitsherd mit wallartigen, harten Rändern und teilweiser Ulzeration vor dem Ohr festgestellt (Bild 12, *c*). Auf Berührung blutete die ulzerierte Stelle leicht. Eine ähnliche, jedoch kleinere Erkrankungsstelle mit flacheren Rändern, aber ebenfalls ulzeriert, wurde im medialen Bereich der Pars orbitalis palpebrae superioris des linken Auges beobachtet. Diese Stelle war etwa linsengroß. Die Nasenspitze zeigte an einer Stelle eine leichte Schorfbildung der Haut, jedoch noch keine Ulzeration und Wallbildung und auch keine sichere Verhärtung unter dem Schorf und in seiner Umgebung.

Das klinische Zustandsbild und der Verlauf sprachen für multiple Hautkarzinome auf dem Boden einer senil-atrophischen Gesichtshaut. Eine Probeexzision aus dem Herd am Ohr ergab bei der histologischen Untersuchung den Verdacht auf ein nichtverhornendes Plattenepithelkarzinom.

Die beiden ulzerierten Stellen am Ohr und am Auge wurden bestrahlt, die fragliche Stelle an der Nasenspitze dagegen weiterhin nur beobachtet. Diese Röntgenbestrahlungen wurden mit dem L-Rohr ausgeführt. Bei dem flacheren Herd am Auge kam das bei 20 kV erzeugte Strahlengemisch zur Anwendung. Die Erkrankungsstelle am Ohr hingegen, welche den dickeren Wallrand hatte,

wurde mit einer mit 30 kV erzeugten Strahlung des L-Rohres behandelt. Die Bestrahlungen erfolgten täglich einmal, und die tägliche Oberflächendosis betrug 200 bzw. 300 r. Am Ohr war die Feldgröße 12×37 mm² und am Auge 12×16 mm². Die gesunde Umgebung wurde mit Blei abgedeckt. In den an-



a *b*

c *d*

Bild 12.

77jähr. Mann mit multiplen Hautkarzinomen.

a und *c* = vor der Behandlung. *b* und *d* = 4 Monate nach der fraktionierten Strahlenbehandlung mit dem L-Rohr (20 bzw. 30 kV, 0,08 mm Cellophanfilterung, 36,5 cm FHA). Teildosis 200 bzw. 300 r, Gesamtdosis am Auge 2200 r, am Ohr 3700 r.

geführten Feldgrößen waren die erkrankten Stellen völlig enthalten, und es lag immer noch eine gesunde schmale Randzone im Bestrahlungsfeld. Die Tiefenwirkungen dieser verwendeten Strahlengemische sind aus Bild 7 zu ersehen. Für 30 kV ist zwischen den Kurven für 20 und 40 kV zu interpolieren. Die gesamte Oberflächendosis, welche auf den ohrnahen Herd gegeben wurde, betrug 3700 r. Der Herd am Auge erhielt insgesamt auf seine Oberfläche 2200 r.

Während der Bestrahlungsserien traten an beiden Herden Abflachungen der Ränder und Strahlenreaktionen zunächst in Form kräftiger Rötungen und später in Form einer oberflächlich-nekrotischen, nässenden Strahlendermatitis auf. Diese Reaktionen wurden hier, wie bei allen weiteren Bestrahlungsfällen, mit Vaseline oder Eucerin- oder Unguentolansalbe behandelt bis zur völligen Abheilung.

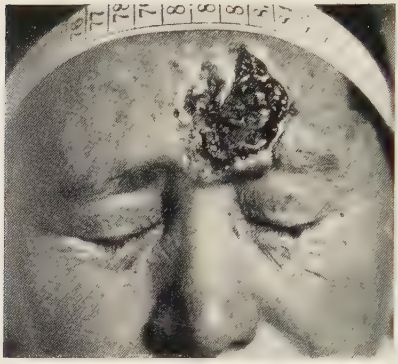
Etwa 1 Woche nach Abschluß der Bestrahlungsserien stießen sich die nekrotisch gewordenen Randgegenden größtenteils ab. 1 Monat nach Abschluß der Bestrahlungen waren beide Stellen völlig überhäutet. Es hob sich hierauf nur noch trockene Haut ab. Der obere Rand des Herdes am Ohr war aber noch angedeutet zu erkennen. Erst ungefähr 4 Monate nach der Bestrahlung (Bild 12, *b* und *d*) waren an Stelle der beiden Erkrankungsherde nur geringfügige, für das Auge kaum sichtbare Narben festzustellen. Die Narben fühlten sich völlig weich an.

Etwa 1 cm nasal vom alten, augennahen Herd hat sich jetzt aber eine neue, stecknadelkopfgroße, flache Ulzeration gebildet (Bild 12, *b*), diese wird dauernd beobachtet und soll bei Größenzunahme sofort bestrahlt werden. Die geringe, mit Schorf bedeckte Stelle an der Nasenspitze blieb bis jetzt immer noch unverändert und bietet zunächst keine Veranlassung zur Strahlenbehandlung.

2. Ein ausgedehntes Ulcus rodens entwickelte sich im Laufe von 1½ Jahren an der Stirn einer 60jähr., sonst gesunden Frau. Als die Pat. zur Strahlenbehandlung kam, war in der Mitte und auf der linken Seite der Stirn, bis zur Augenbrauenhöhe herabreichend, ein großes Geschwür zu erkennen. Die graurote, auf Berührung leicht blutende Geschwürsfläche war uneben und hatte einen unregelmäßigen, erhabenen, zum Teil unterminierten, harten Rand (Bild 13, *a*). Das Ulkus war in der Augenbrauengegend tiefer entwickelt als in den kranialeren Bereichen. Es ließ sich auf der Unterlage noch verschieben. Eine Probeexzision aus dem Rande sprach eindeutig für ein verhornendes Plattenepithelkarzinom mit entzündlichen Veränderungen.

Dieser weit ausgedehnte, verhältnismäßig aber sehr flache, ulzerierte Hauttumor wurde mit einer 40-kV-Strahlung des L-Rohres behandelt. Eine Teildosis von 200 r wurde anfangs täglich, gegen Ende der Bestrahlung hingegen in mehrtägigen Abständen gegeben. Die Feldgröße betrug zuerst 6×6 cm², und somit konnte der ganze Tumor und ein ihn umgebender, ausreichend großer, gesunder Bereich auf einmal bestrahlt werden. Nach 10 Sitzungen, was der Gabe einer Oberflächendosis von insgesamt 2000 r entsprach, war eine Bestrahlungsreaktion der gesunden Haut in Form einer starken Rötung zu erkennen. Die Ulzeration war im ganzen flacher geworden. Ihre oberflächlichen Teile stießen sich bereits nekrotisch ab, und die am weitesten kranial gelegenen Stellen hatten sich schon verkleinert. Daraufhin wurde das Bestrahlungsfeld eingeengt und nur noch die mittlere und augenbrauennahe Ulkusgegend weiterbestrahlt. Nach weiteren 7 Sitzungen, wobei immer in einer Sitzung 200 r gegeben wurden, war die Ulzeration größtenteils eingeebnet und überall schon leicht überhäutet (Bild 13, *b*). Es bestand der harte Wall in der Augenbrauengegend nur noch teilweise. Nach dieser bisher gegebenen gesamten Dosis von 3400 r konnte erst jetzt eine beginnende Epilation der Augenbraue festgestellt werden. Nun wurde noch einmal eine Verkleinerung des Bestrahlungsfeldes vorgenommen und in weiteren 7 Sitzungen nur noch die augenbrauennahe Randzone bestrahlt. Auch in diesen Sitzungen wurde die Oberfläche mit 200 r in einer Sitzung belastet.

a



b

c

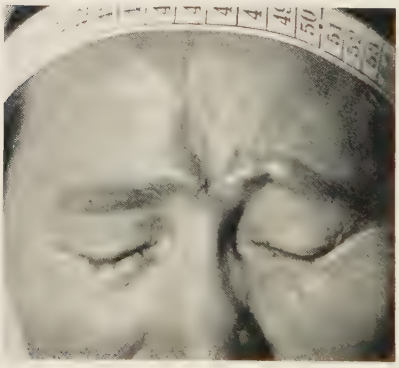


Bild 13.

Ulcus rodens einer 60jähr. Frau.

a = vor der Bestrahlung. *b* = nach Abschluß einer fraktionierten Bestrahlung mit dem L-Rohr (40 kV, 0,08 mm Cellophanfilterung, 36,5 cm FHA). Teildosis 200 r, höchste Gesamtdosis, nur am augenbrauennahen Rand gegeben, 4800 r. *c* = Narbenzustand 4 Monate nach Behandlungsbeginn.

Diese Randzone bekam also bei der ganzen Bestrahlungsserie die höchste Gesamtdosis, nämlich 4800 r.

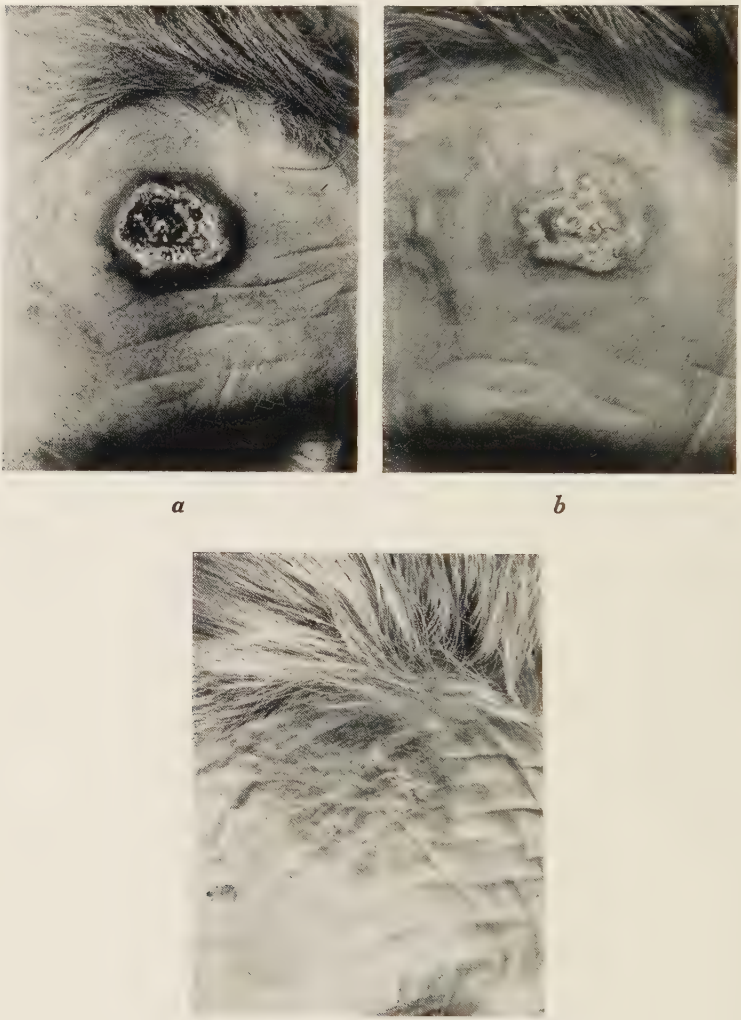
2 Monate nach Abschluß dieser Bestrahlungsserie und etwa 3 Monate nach Beginn der Behandlung war eine völlige Ausheilung des Ulcus rodens eingetreten. In der Randgegend nahe der Augenbraue wurde nach Abschluß der Bestrahlung noch einmal eine Probeexzision ausgeführt. Die histologische Untersuchung ergab aber keinen Anhaltspunkt mehr an dieser Stelle für bösartiges Wachstum. Bild 13, *c* zeigt den Bestrahlungserfolg 4 Monate nach dem Behandlungsbeginn. Die glatte Narbe weist am Rande einige Teleangiektasien auf. Die Übergangsgebiete zur normalen Stirnhaut sind weich. Die mitbestrahlte gesunde Stirnhaut der Umgebung zeigt mäßig starke Pigmentation, besonders die stärker bestrahlten Bereiche in der Augenbrauenhöhe.

1 Monat später, also 5 Monate nach dem Behandlungsbeginn, stellten sich kleinere Eiterungen im augenbrauennahen Narbengebiet ein. Eine Reinigung und Verkleinerung konnte durch Salbenbehandlung erzielt werden. Obwohl sich das Gewebe weich anfühlte und klinisch sehr an einen entzündlichen Prozeß zu denken war, wurde dieser Bereich doch noch einmal zur Sicherheit bestrahlt, da möglicherweise in dieser Gegend die Eindringtiefe der verwendeten 40-kV-Strahlung nicht völlig für den dort etwas dicker gewachsenen Tumor ausgereicht hatte. Diese zusätzliche Bestrahlungsserie wurde bei enger Ausblendung des Bereiches in Augenbrauenhöhe durchgeführt. Die Bestrahlung geschah jetzt mit dem O-Rohr bei 75 kV Betriebsspannung und 0,1 mm Al + 0,08 mm Cellophan als Filter. Diese Strahlung war durchdringender als die 40-kV-Strahlung des L-Rohres (vgl. Bild 7). Täglich wurden 300 r gegeben bis zu einer Gesamtdosis von 3000 r. Etwa 1 Monat nach Abschluß dieser Zusatzserie war der Narbenzustand wieder völlig symptomfrei. Somit hat also der augenbrauennahe Teil des Ulcus rodens während der beiden Bestrahlungsserien insgesamt 7800 r Oberflächendosis erhalten.

3. Ein großes Kankroid der Stirnhaut bei einer 78jähr. Frau hatte sich ungefähr in einem Jahre entwickelt. Es war auf der Unterlage gut verschieblich. In der Mitte zeigte es eine ausgedehnte Ulzeration. Der sehr harte, wallartige Rand erhob sich 4—5 mm hoch über die Stirnhaut (Bild 14, *a*). Histologisch bestätigte sich die Diagnose eines Kankroids.

Diese ziemliche Dicke der Erkrankungsstelle war die Veranlassung zur Bestrahlung mit dem O-Rohr. 75 kV Betriebsspannung und 0,1 mm Al- + 0,08 mm Cellophanfilterung wurden dabei angewendet. Das Bestrahlungsfeld war kreisrund und maß 4 cm im Durchmesser.

Insgesamt wurden 4000 r Oberflächendosis gegeben, und zwar in Einzeldosen von etwa 300 r. Die Bestrahlungen erfolgten im allgemeinen jeden zweiten Tag. Schon nach Gabe von 900—1200 r war eine Rötung der mitbestrahlten gesunden umgebenden Haut zu erkennen, und die Abflachung des Randes setzte ein. Etwa 2 Wochen nach Abschluß der Bestrahlungsserie hatte sich das Kankroid schon sehr stark verkleinert und die Ulzeration teilweise überhäutet (s. hierzu Bild 14, *b* und vgl. *b* mit *a*). Das runde Bestrahlungsfeld war deutlich rotbraun zu erkennen. Nach weiteren 1½ Monaten war der Tumor völlig verschwunden (Bild 14, *c*). Das Bestrahlungsfeld zeigte deutliche Pigmentierung. Die Narbe war weich und flach und lag etwas tiefer als die umgebende faltige Haut.



a *b*

c

Bild 14.

Kankroid an der Stirn einer 78jähr. Frau.

a = vor der Behandlung. *b* = 2 Wochen nach Abschluß einer fraktionierten Bestrahlungsserie mit dem O-Rohr (75 kV, 0,1 mm Al- + 0,08 mm Cellophanfilterung, 36,5 cm FHA). Teildosis etwa 300 r, Gesamtdosis 4000 r. *c* = 2 Monate nach Abschluß der Bestrahlungsserie.

4. Im rechten nasalen Augenwinkel einer 70jähr. Frau entstand ungefähr in einem Jahr ein vielgestalteter Tumor (Bild 15, *a*). Er war teilweise ulzeriert und blutete auf Berührung recht leicht. Auf seiner Unterlage war er gut verschieblich. Die histologische Untersuchung konnte ein verhornendes Plattenepithelkarzinom feststellen.

Analog dem Fall 3 wurde auch dieses Hautkarzinom fraktioniert mit dem O-Rohr bestrahlt. 75 kV, 0,1 mm Al + 0,08 mm Cellophan als Filterung, 36,5 cm FHA und ein kreisrundes Bestrahlungsfeld mit 4 cm Durchmesser wurden dabei angewendet. Das Auge konnte durch einen kleinen Bleisektor gut geschützt werden. Dieser Fall wurde aber täglich und jedesmal mit einer doppelt so großen Oberflächendosis als der Fall 3, nämlich mit 600 r, bestrahlt. Die Gesamtdosis belief sich auf 4800 r. Die Hautreaktion war recht intensiv, doch konnte diese Serie in ungefähr dem vierten Teil der Zeit im Vergleich zu Fall 3 zu Ende geführt werden. Bild 15, *b* zeigt die Rückbildung des Tumors 2 Monate nach dem Bestrahlungsbeginn. Es hat sich auch in diesem Falle eine weiche glatte Narbe gebildet, welche völlig im Hautniveau liegt. Das Bestrahlungsfeld zeigte noch eine intensive Pigmentation.

a *b*

Bild 15.
Verhornendes Plattenepithelkarzinom im nasalen Augenwinkel einer 70jähr. Frau. *a* = vor der Behandlung. *b* = Narbenzustand etwa 7 Wochen nach einer fraktionierten Strahlenbehandlung mit dem O-Rohr (75 kV, 0,1 mm Al- + 0,08 mm Cellophanfilterung, 36,5 cm FHA). Teildosis 600 r, Gesamtdosis 4800 r.

5. Seit etwa ½ Jahr bestand an der rechten Seite im Lippenrot der Unterlippe eines 55jähr. Mannes eine runde, scheibenförmige, sehr flache Verhärtung. Vor der Behandlung hatte sie eine Ausdehnung von ungefähr 1 cm im Durchmesser (Bild 16, *a*). Der Rand war gegenüber der Lippe etwas erhaben. In der Mitte konnte eine flache Ulzeration festgestellt werden. Die histologische Untersuchung bestätigte die Annahme eines verhornenden Plattenepithelkarzinoms.

Dieser Fall wurde durch die Gabe einer massiven Dosis von 1200 r auf die Tumoroberfläche behandelt. Da nach dem Schrifttum Lippenkarzinome meist sehr gut auf Bestrahlungen reagieren, wurde bei diesem flachen Tumor mit einer einzeitigen Massivdosis bestrahlt. Das O-Rohr bei 75 kV und 0,1 mm Al- + 0,08 mm Cellophanfilterung wurde dabei angewendet. Das kreisrunde Bestrahlungsfeld hatte einen Durchmesser von 2 cm. Nach einem Monat war die harte Tumorplatte mit der Ulzeration verschwunden. Es zeigte sich an der

Erkrankungsstelle noch eine kleine Schorfbildung (Bild 16, *b*). Dieser ganze Lippenbereich fühlte sich wieder weich an. Auf der Haut unterhalb des Lippenrotes war das Bestrahlungsfeld durch leichte Pigmentation erkenntlich. Nach weiteren 14 Tagen hatte sich auch der Schorf völlig abgelöst, und es blieb nur noch eine kleine weiche Narbe (Bild 16, *c*). Die Pigmentation war unverändert.

a

b

c

Bild 16.

Lippenkarzinom eines 55jähr. Mannes.

a = vor der Bestrahlung. *b* = 1 Monat nach der Gabe einer Massivdosis von 1200 r mit dem O-Rohr (75 kV, 0,1 mm Al- + 0,08 mm Cellophanfilterung, 36,5 cm FHA). *c* = Narbe 6 Wochen nach der Bestrahlung.

6. Dem vorangegangenen Fall eines sehr flachen, langsam gewachsenen Lippenkarzinoms ohne sicher nachweisbare Metastasierung sei ein rasch gewachsenes Lippenkarzinom mit stärkerem Dickenwachstum und Metastasierung gegenübergestellt.

Ein 55jähr. Mann mit einer Lues in der Anamnese und stark positiver Wa.R. merkte erst 2 Monate vor der Strahlenbehandlung eine stetig wachsende Geschwulst an der linken Seite seiner Unterlippe. Vor dem Behandlungsbeginn war die Geschwulst etwa kirschgroß und schon ulzeriert (Bild 17, *a*). Sie fühlte

sich an den Rändern hart an. Die histologische Untersuchung ergab ein Karzinom. Wenige Tage bevor der Pat. zur Strahlenbehandlung kam, bemerkte er Schluckbeschwerden ohne Fieber und ohne Erkältungserscheinungen. Die Besichtigung der Mund- und Rachenhöhle ergab eine Rötung und Vorwölbung der linken Tonsillengegend bis fast an die Uvula. Diese Vorwölbung fühlte sich etwas härter an als die rechte Tonsillengegend. Submaxillar links war eine kleine Drüse zu tasten.

Der primäre Tumor an der Lippe wurde mit Blei ausreichend abgedeckt (Blendendurchmesser 3 cm). Die fraktionierte Bestrahlung wurde ebenfalls mit dem O-Rohr ausgeführt (75 kV, 0,1 mm Al- + 0,08 mm Cellophanfilterung). Täglich wurde die Oberfläche mit 600 r bestrahlt bis zu einer gesamten Oberflächendosis von 6000 r. Die Dicke des Tumors machte eine so starke Be-

a *b*

Bild 17.
Linksseitiges Lippenkarzinom eines 55jähr. Mannes mit Metastase in der linken Tonsillengegend.
a = vor der Bestrahlung. *b* = Narbenzustand 2 Monate nach der fraktionierten Bestrahlung mit dem O-Rohr (75 kV, 0,1 mm Al- + 0,08 mm Cellophanfilterung, 36,5 cm FHA). Teildosis 600 r, Gesamtdosis 6000 r.

strahlung notwendig. Schon unter der Bestrahlung verkleinerte sich der Lippentumor, und am Ende der Bestrahlungsserie war er bereits völlig eingeebnet, und das ganze Bestrahlungsfeld zeigte den weißlichen Belag einer kräftigen Strahlenreaktion. In den darauffolgenden Wochen trat eine Abstoßung der oberflächlichen Nekrosen und Reinigung des Bestrahlungsfeldes ein, und 2 Monate nach Abschluß der Bestrahlungsserie war an Stelle des primären Tumors eine weiche Narbe festzustellen (Bild 17, *b*).

Die Vorwölbung der Tonsillengegend, welche als eine Metastase angesprochen werden mußte, bildete sich während einer Röntgentiefenbestrahlungsserie, die nach C o u t a r d durchgeführt wurde, völlig zurück. Die submaxillare Drüse wurde auch nach der Bestrahlung noch in gleicher Größe getastet. Weitere Metastasen konnten bei dem Pat. bis jetzt nicht nachgewiesen werden.

7. Seit etwa 6 Jahren besteht bei einer 76jähr. Pat. ein Erkrankungsprozeß am Rande der rechten Ohrmuschel. Bisher wurde die Frau immer auf Frostschaden ohne Erfolg behandelt. Der obere und hintere Ohrmuschelrand war in einen kleinknolligen Tumor verwandelt. Die einzelnen Knollen fühlten

sich hart an und waren ulzeriert (Bild 18, *a*). Regionäre Drüsen konnten nicht festgestellt werden. Die histologische Untersuchung ergab ein Basalzellenkarzinom.

Um eine möglichst homogene Durchstrahlung dieses knolligen Tumors zu erreichen, wurde in diesem Falle die Bestrahlung mit dem D-Rohr ausgeführt (180 kV, 0,6 mm Cu-Filterung, 30 cm FHA). Eine geeignete Bleiabblendung sorgte dafür, daß nur der Tumor und etwas gesunde Umgebung den Strahlen ausgesetzt wurden. Der Ohrmuschelrand ließ eine solche Abblendung leicht zu. Täglich wurden 300 r Oberflächendosis gegeben. Nach Erreichung einer Gesamtdosis von 1800 r zeigte sich ein guter Rückgang des Tumors und eine kräftige

a *b*

Bild 18.

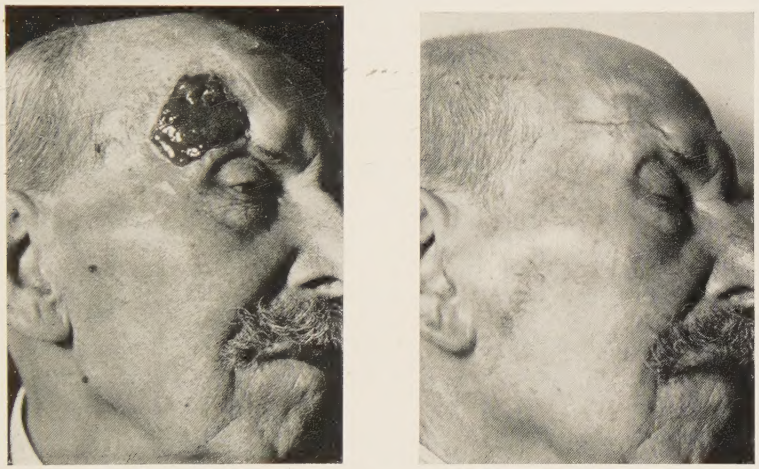
Basalzellenkarzinom einer 76jähr. Frau am Ohrmuschelrand.
a = vor der Bestrahlung. *b* = 2 Monate nach einer fraktionierten Bestrahlung mit dem D-Rohr (180 kV, 0,6 mm Cu, 30 cm FHA). Teildosis 300 r, Gesamtdosis 1800 r.

Hautreaktion. Um Knorpelnekrosen möglichst zu vermeiden, wurde die Bestrahlung nicht fortgesetzt. Etwa 2 Monate nach der Bestrahlung war ein glatter, durch Narben nur wenig gestaltlich veränderter Ohrmuschelrand festzustellen (Bild 18, *b*).

8. Bei einem 78jähr. Pat. war ein verhornender Hautkrebs an der Schläfe im Laufe von 2—3 Jahren zu recht beträchtlicher Größe herangewachsen. An einer anderen Behandlungsstelle wurde zuerst durch Operation und durch geringe Dosen einiger Röntgentiefenbestrahlungen (Gesamtdosis 600 r) eine Heilung dieser Geschwulst versucht. Sie konnte aber nicht erreicht werden, und es blieb an der Schläfe eine rundliche, scharfbegrenzte, flammendrote Wucherung bestehen (Bild 19, *a*). Diese Geschwulst war gegenüber der normalen Haut nur wenig erhaben, hatte eine ziemlich glatte, von Epithel entblößte Oberfläche und fühlte sich dort weich an. Ihr Durchmesser betrug etwa 4 cm. Mit der Unter-

lage war die Wucherung fest verwachsen, und sie reichte bis an den oberen Augenhöhlenrand. Regionäre Drüsenschwellungen waren nicht nachweisbar. Die nochmalige histologische Untersuchung ergab ein verhornendes Karzinom.

Es wurde nun durch eine erneute, bedeutend höher dosierte Röntgenstrahlenbehandlung eine Beeinflussung versucht. Zuerst wurden in 4 Sitzungen insgesamt 1000 r mit dem N-Rohr gegeben (60 kV, Tubus 5,0 cm FHA). Da die Geschwulst aber fest mit der Unterlage verwachsen war, der Tumor also ziemlich tief reichen mußte, wurde das N-Rohr bei den weiteren Bestrahlungen durch das D-Rohr (180 kV Betriebsspannung, 0,6 mm Cu-Filterung, 30 cm FHA) ersetzt. Die Bestrahlungsfeldgröße wurde 6×8 cm² gewählt. Das Auge konnte durch eine Bleikappe vor direkter Röntgenstrahlung geschützt werden. Die fraktio-



a *b*

Bild 19.

Verhornender Hautkrebs an der Schläfe bei einem 78jähr. Mann (Operationsrezidiv). *a* = vor der Strahlenbehandlung. *b* = etwa 1 Jahr nach einer fraktionierten Strahlenbehandlung mit dem N-Rohr (60 kV, Tubus 5,0 cm FHA) und dem D-Rohr (180 kV, 0,6 mm Cu-Filterung, 30 cm FHA) ausgeführt. Teildosis 100–250 r, Gesamtdosis 3400 r.

nierte Bestrahlungsserie bestand aus 14 Sitzungen. Die Teildosen betrugen 100 bzw. 150 r. Die gesamte Oberflächendosis dieser Tiefenbestrahlung ergab sich einschließlich der Streustrahlung zu 2400 r. Die Teilbestrahlungen wurden täglich ausgeführt. Nach Abschluß dieser Serie kam es zu einer Strahlenreaktion der Haut und im Verlauf dieser zu einer langsamen Abstoßung und Rückbildung der Geschwulst. Diese Rückbildung ging auffallend langsam, aber durchaus stetig voran, und erst nach mehreren Monaten war eine vollständige Überhäutung und Vernarbung eingetreten (Bild 19, *b*). Die Narbe war auf der Unterlage in diesem Falle nicht verschieblich, und innerhalb der Narbe waren einige Teleangiektasien entstanden. Während der Primärtumor innerhalb eines Jahres nicht mehr rezidivierte, entstand etwa nach einem Jahr hinter dem rechten Ohr eine Drüsengeschwulst, welche langsam wächst und auf Röntgenstrahlenbehandlung nicht reagierte. Sie muß als regionäre Metastase angesehen werden.

X. Zusammenfassung.

Diese Beispiele zeigen günstige primäre Beeinflussungen oberflächlich gelagerter Tumoren mit den zur Zeit vorhandenen L-, O- und D-Röhren. Die ebenfalls günstigen Beeinflussungen solcher Tumoren mit der Röntgennahbestrahlung (N-Rohr) und mit Radium sind von anderen Autoren beschrieben worden. Bezüglich der primären Beeinflußbarkeit solcher Tumoren scheinen die Röntgenstrahlenbehandlungen sowohl mit dem L-, O- und D-Rohr als auch mit dem N-Rohr und Radiumbehandlungen gleich Gutes zu leisten. Voraussetzung ist allerdings eine zweckentsprechende Auswahl der Bestrahlungsweise und die Anwendung einer der Ausdehnung des Erkrankungsherdes angepaßten Tiefenwirkung der Strahlungen für jeden einzelnen Fall.

Das Urteil jedoch, ob Röntgenstrahlen und Radium hinsichtlich der Dauerheilungen, gleich vollkommene Behandlungstechniken vorausgesetzt, gleichwertig sind, muß noch der Zukunft überlassen bleiben.

Schrifttum.

1926. Belot, J., Acta radiol. (Stockh.) **6**, 147—153. — Coste, Jules, Arch. Électr. méd., Jahrg. 34, 257—286. / J. belge Radiol. **15**, 291—357. / J. Radiol. et Électrol. **10**, 529—543. / Arch. Électr. méd., Jahrg. 34, 435—437. — Girel, Georges, Paris. S. 301. — Pfahler, G. E., Atlantic. med. J. **29**, 381—387.

1927. Armani, Lodovico, Giorn. Clin. med., Jahrg. 8, 91—106. — Beau, H., Paris méd., Jahrg. 17, 383—387. — Belot, J., Bull. Assoc. franç. pour Étude Canc. **16**, 411—418. — Davies, J. H. T., Brit. med. J. 332. — Grier, G. W., New Orleans med. J. **79**, 508—512. — Laborde, Simone, Bull. Soc. Radiol. méd. France, Jahrg. 15, 194—203. — Martin, J. M., Radiology **8**, 204—214.

1928. Belot, J., J. Radiol. et Électrol. **12**, 91—94. — Del Buono, Pietro, Radiol. med. **15**, 115—128. — Evans, William A. und T. Leucutia, Brit. J. Radiol. **1**, 396—427. — Pfahler, G. E., Med. J. a. Rec. **128**, 261—263. — Turano, Luigi, Arch. di Radiol. **4**, 675—680.

1929. Martin, J. M., South. med. J. **22**, 881—885. — Miescher, G., Schweiz. med. Wschr. **1929** II, 1225. — Schaefer, W. und E. Witte, Strahlenther. **33**, 578—581. — Turano, Luigi, Radiol. med. **16**, 583—599.

1930. Belot, J. und Y. E. Buhler, Rev. d'Actinol. **6**, 91—107. — Blumenthal, Franz und Franklin Reiss, Zschr. Krebsforschg. **32**, 112—118. — McEuen, H. B., Radiology **14**, 587—590. — Fanardžev, V., Vopr. Onkol. (russ.) **2**, 245—248. — Laborderie, J., Arch. Électr. méd. **38**, 145—163. — Miescher, G., Strahlenther. **37**, 17—30. — Stümpke, G., ebd. **35**, 98—102.

1931. Abgarov, V., Vestn. Rentgenol. (russ.) **9**, 39—43 u. dtsch. Zusammenfassung 64—65. — Belot, J., J. de Radiol. **15**, 345—360. J. belge

Radiol. **20**, 279—280. — Ericksen, Lester, G. und K. W. Stenstrom, Amer. J. Roentgenol. **26**, 881—889. — Fiorini, Massimiliano, Riv. Radiol. e Fisica med. **5**, Festschrift Busi Pte 1, 506—521. — Grier, G. W., Amer. J. Roentgenol. **26**, 461—466. — Miescher, G., Schweiz. med. Wschr. **1931** I, 299—304.

1932. Coste, J., Arch. dermato-syphiligr. Hôp. St. Louis **4**, 195—222. — Hintze, Arch. klin. Chir. **173**, Kongr.-Ber., 54—66. — Martin, Charles L., Amer. J. Roentgenol. **28**, 728—737 u. 742—746. — Schaefer, W. und E. Witte, Strahlenther. **44**, 283—292.

1933. Beck †, S. C. und M. Lang, Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten **12**. — Chaoul, H. und A. Adam, Strahlenther. **48**, 31—50.

1934. Belot, Jules et Francois Lepennetier, Verh. 4. intern. Kongr. Radiol. **2**, 398—399. — Chaoul, Heinrich, ebd. **2**, 348—350. / Strahlenther. **49**, 718—719; **50**, 446—452. / Münch. med. Wschr. **1934** I, 235—239. — Grier, G. W., Amer. J. Roentgenol. **32**, 206—210. — Howes, W. E., Radiology **23**, 71—74. — Miescher, G., Strahlenther. **49**, 65—81. — Pfahler, George E. und Jacob H. Vastine, Radiology **23**, 542—547. — Schaefer, W. und E. Witte, Strahlenther. **49**, 298—303 u. 720; **50**, 579—586.

1935. Chaoul, H., Strahlenther. **52**, 221—225; **53**, 202—209. — Picchio, Carlo, Tumori **9**, 115—175.